

ISSN 0385—6844

有明工業高等専門学校紀要

第 32 号

平成 8 年 1 月

Research Reports
of the
Ariake National College of Technology
No. 32
January 1996

Published by Ariake National College of Technology
Omuta, Japan

目 次

本校における「情報処理基礎」教育の試みと評価	山下 巖 河村 豊 實	1
PSEUDOCONVEXITY OF A RIEMANN DOMAIN IN INFINITE DIMENSIONAL PROJECTIVE SPACES	本田 竜 広	7
ON THE SMOOTHNESS OF A BOUNDARY DISTANCE FUNCTION	坂西 文 俊	15
固有 2 次曲線の標準方程式のグラフから未知係数, 焦点, 離心率, 準線の幾何学的構成について	川上 龍 男	21
Wilson 式および ASOG 式による減圧下の気液平衡の推算	渡辺 徹 本田 克 美 荒井 康 彦	27
回転電極法による炭酸ガス還元機構解明の試み	石丸 智 士	33
鉄筋コンクリート造長柱材のせん断抵抗機構に関する一考察	玉野 實	37
からくり人形の復元についての一考察	木下 正 作 原 慎 真 也 川崎 義 則	49
Axial Hole Deviation in Deep Drilling (1st Report) —Influence of Misalignments in Drilling System—	田口 紘 一 甲 木 昭 雄 佐久間 敬 三	57
Axial Hole Deviation in Deep Drilling (2nd Report) —Influence of Shape of Workpiece—	田口 紘 一 甲 木 昭 雄 佐久間 敬 三	65
表計算ソフトによる過度現象教育	河野 晋 石丸 智 士 辻 一 夫	75
電子情報工学科棟 LAN の IP 接続について	瀬々 浩 俊 松野 良 信	79
低ノイズ CMOS 出力バッファ機構の検討	石丸 智 士	85
MOS 集積回路の試作—九州工業大学情報技術セミナーに参加して—	中村 俊三郎	89
アダムとザユードの距離	中本 潔	93
菅原道真作品研究 —「未旦求衣賦」注釈—	焼山 廣 志	110
研究活動概要 (自1994年10月～至1995年 9 月)		111

本校における「情報処理基礎」教育の試みと評価

山下 巖・河村 豊 實

〈平成 7 年 10 月 2 日受理〉

On the Evaluation for the education by the Computer Literacy and Programming introduced newly at Our School

At our school, the subject of computer literacy and programming has been introduced newly in 1994 year. And, the education has been performed for one year. It is purposes of the paper that examine results of the education.

Iwao YAMASHITA and Toyomi KAWAMURA

1. ま え が き

本校では、平成 6 年度全学科のカリキュラムを一部手直しして、2 単位の「情報処理基礎」という科目を 1 ないし 2 年生に設定して、情報処理基礎教育充実策を考えて実施し、1 年が経過した。学科によっては、2 単位が 1 年生と 2 年生にわたっているところもあり、完全な評価を試みられる状況ではないが、情報処理の導入部分の大事な教育でもあり、専門の情報処理教育へ即時的に影響を及ぼすことを考慮して、早めの評価を試みようとしたものである。

2 節で「情報処理基礎」導入にいたるまでの検討経過、3 節で平成 6、7 年度本校入学生へのアンケート調査分析、4 節で本校の「情報処理基礎」新設に伴うカリキュラム変更、5 節で「情報処理基礎」の導入実施の反省と評価、そして 6 節はあとがきである。

2. 「情報処理基礎」導入にいたるまでの検討経過

本校では、平成 5 年度「情報処理基礎」導入に向けて、各学科の基礎教育の分析と本校入学生の情報教育についての予備知識とパーソナルコンピュータの操作の程度とを分析検討した。その結果、

- (1) 情報処理の専門教育にいたる前段の基礎教育の内容は、コンピュータリテラシを中心にすれば、充分実施できる。その扱う内容は、学科によってまちまちではあるが、専門教育への橋渡しとして、それぞれ適当な内容を考えることが出来る。
- (2) 中学時代の情報基礎で扱っている教育内容と、本校で実施しようとする教育内容は、重複する内容

もあるが、扱っている内容のレベルを高度化し習熟化させる意図を持って扱えば成立する。パーソナルコンピュータの操作テクニックにしても、中学時代の操作技術では十分ではないので、さらに熟練化を目指して、教育を行うことをすれば意義はある。

以上、2 点の方向性を見出して、「情報処理基礎」の導入を決定した。その経緯は、平成 5 年度の高専情報処理教育研究委員会研究発表会の論文集 [1] と本校紀要の第 31 号 [2] に詳細に記述する。

平成 6 年度、この検討をもとにして、カリキュラム改訂が教務委員会で審議決定されて、各学科の専門学科の情報処理を分離し、1 年ないし 2 年生に 2 単位の「情報処理基礎」を置くことになる。さらに、担当教官は全学科を一人の教官が共通に担当することになった（参考文献 [2] 参照）。

3. 本校入学生へのアンケート調査分析

本校では、平成 6 年度から、入学生の全学生を対象に、中学時代の情報基礎教育の教育程度を把握するために、アンケート調査を実施して、本校の適当な「情報処理基礎」の教育内容を模索し決定することとした。単年度だけでは、データの母集団としては、数が少なすぎることに中学校でも情報基礎の内容は年々進化するであろうことを考えて、平成 7 年度も調査を試みた。平成 6 年度の調査については、すでに参考文献 [2] で報告しているが、この 2 年間分の調査を比較検討して、特徴を探して見よう。その比較表を表 1 に示し、典型的な項目を選択し図示したものが図 1 である。

この表を細かく分析すると、平成 6 年度では入学生の 65% が情報基礎の授業を受けている。そのうち 74% の者がパーソナルコンピュータを設置している学

* 本論文は、平成 7 年度高専情報処理教育研究発表会で発表されたものである。

校からの入学生で、2人に1台程度の環境下で授業を受けてきている。そして、その教育内容もプログラム、ワープロ、表計算など多岐にわたっている。また、情報基礎以外の教科でも、相当数利用されていることが

うかがえる。

これらの傾向は平成7年度も同様で、教育内容については、さほど変化はないが、授業の開設中学校数やパーソナルコンピュータ設置台数は、かなり整備が進んでいることが読みとれる。

したがって、今後は、年々パーソナルコンピュータを何らかの形で、使った経験を持つ入学生が多くなっていくことを考慮したコンピュータリテラシ教育のあり方を検討して行く必要性があらう。

4. 「情報処理基礎」新設に伴うカリキュラム変更

電子計算機室運営委員会から教務委員会へカリキュラム改訂の提案が行なわれて、教務委員会より各学科にはかられ、慎重な審議を繰り返して、以下のような改訂が了承された。各学科の主な変更点をまとめて、一覧表にして、表2、表3に示す。

機械工学科は、2年生で2単位実施していた「プログラミング基礎」を1年生1単位、2年生1単位と分離して「情報処理基礎」として、1単位分だけをよその学科と共通な1学年へ移行した。製図の単位数との関係で、どうしても1単位分は2学年で実施せざるをえずに1年生から2年生に継続して行うこととした。

電気工学科は、1、2、3学年それぞれ2単位と4学年1単位の「情報処理」7単位のうち、1学年の2単位分を「情報処理基礎」に当てることにした。

電子情報工学科は、1、2、3学年それぞれ2単位の「プログラミング」6単位のうち1学年の2単位分を「情報処理基礎」に当てることにした。

物質工学（工業化学）科は、1学年2単位、2学年1単位、そして4学年1単位の「情報処理」を、1学年の2単位分を「情報処理基礎」に当てることにした。

表2 カリキュラム変更点（次ページへ続く）

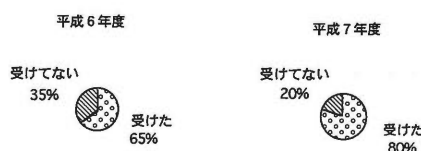
機械工学科

	平成5年度	平成6年度以後
1年		情報処理基礎 1単位
2年	プログラミング 2単位	情報処理基礎 1単位
3年		
4年	情報処理 1単位	情報処理 1単位
5年	情報処理 1単位	情報処理 1単位

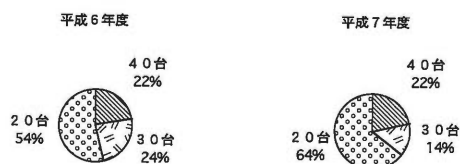
表1 入学生への予備知識調査

		平成6年度	平成7年度
問1 授業を	受けた	134	167
	受けてない	73	43
問2 パソコンを	使った	153	181
	40台	34	43
	30台	36	27
	20台	83	126
問4 授業内容	使っていない	54	16
	プログラム	55	102
	ワープロ	95	149
	表計算	72	101
	絵を描く	126	156
問5 言語	BASIC	52	103
	C	3	5
	LOGO	2	16
	その他	5	14
問6 他教科での利用	国語	4	3
	社会	11	16
	理科	31	28
	英語	5	7
	数学	39	59
	家庭	5	19
	美術	3	3
	音楽	3	3
	技術	24	41
	体育	1	0

新入生の「情報基礎」の受講状況



パソコン設置台数割合



主な情報基礎教育内容

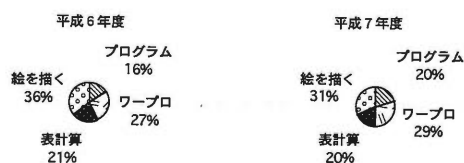


図1 入学生の予備知識比較図

表 3 カリキュラム変更点 (前ページからの続き)

電気工学科

	平成 5 年度	平成 6 年度以後
1 年	情報処理 2 単位	情報処理基礎 2 単位
2 年	情報処理 2 単位	情報処理 2 単位
3 年	情報処理 2 単位	情報処理 2 単位
4 年	情報処理 1 単位	情報処理 1 単位
5 年		

電子情報工学科

	平成 5 年度	平成 6 年度以後
1 年	プログラミング 2 単位	情報処理基礎 2 単位
2 年	プログラミング 2 単位	プログラミング 2 単位
3 年	プログラミング 2 単位	プログラミング 2 単位
4 年		
5 年		

物質工学科

	平成 5 年度	平成 6 年度以後
1 年	情報処理 2 単位	情報処理基礎 2 単位
2 年	情報処理 1 単位	情報処理 1 単位
3 年		情報処理 1 単位
4 年		
5 年	情報処理 1 単位	

建築学科

	平成 5 年度	平成 6 年度以後
1 年	情報処理 2 単位	情報処理基礎 2 単位
2 年	情報処理 2 単位	情報処理 2 単位
3 年		
4 年		
5 年		

建築学科は、1 学年 2 単位、そして 2 学年 2 単位の「情報処理」を、1 学年の 2 単位分を「情報処理基礎」に当てることにした。

各学科とも現行の情報処理に関する教科を読み変えて「情報処理基礎」を作っただけであるが、その内容は、各学科独自のコンピュータリテラシ教育を実施することで合意した。機械工学科は、機械システム制御プログラム作成準備教育としての、C 言語プログラム作成の基本的テクニックマスタを重点目標に設定している。

電気工学科及び電子情報工学科では、構造的プログラム作成が容易な、教育用言語である PASCAL をマスタさせ、将来専門教育で利用する C 言語への準備教育としてのリテラシ教育を行う。

物質工学（工業化学）科及び建築学科では、応用ソフトの利用技術のマスタがリテラシ教育と捉えて、ワープロ、表計算及び簡単なプログラム作成をリテラシ教育の主眼にしている。

5. 「情報処理基礎」の導入実施の反省と評価

本校では、このカリキュラム変更のもと、1 学年及び 2 学年でコンピュータリテラシを前面にした情報処理基礎教育を平成 6 年度より実施することにした。その成果を、とやかく議論するには、未だ実施期間が短かすぎるが、導入時点での教育が直接専門学科での情報処理教育へ連携していくことを考えて、早期に成果評価を行ってみた。

確かに、コンピュータへの新たな興味やいろいろな利用法などへの興味を学生へ浸透させることはできているが、中学時代からの連続的な技術修得教育として成果を見た場合、技術のレベルを一挙に向上できたかとなると疑問は残る。しかし、それはそれとして、上記のように計算機への興味や道具としての有用性への認識を高めることを第一義的に考えるならば、成果は上がっていると思う。

次に、本校専門学科情報処理教育への連続性を維持する観点からの評価を試みるために、本校専門学科で

情報処理基礎教育に関するアンケート

アンケート1

情報処理基礎教育の内容が、専門学科の「情報処理」教育とうまく連携しているか。

アンケート2

現行の内容以外に情報処理基礎教育の内容にふさわしいと思われる内容は

1. タイピング技術の高度化
2. 文章作法（ワープロ上級）
3. データ処理法（表計算上級）
4. 電子メール（校内LANの関連で）
5. 情報収集法
6. システム言語（たとえば、MS-DOS、UNIXなど）
7. その他

アンケート3

共通基礎の内容として、現在的方式で妥当か。

1. 現在的方式（コンピュタリテラシ中心）でよい。
2. もっと、アルゴリズム（論理手順分析）に力点をのいたプログラミング技法を教えるべき
3. 言語を統一して、各学科共通の言語を教えても構わない。
4. その他

図2 「情報処理基礎」教育に関するアンケート

情報処理を担当する教官に、図2のようなアンケートを依頼して、専門学科情報処理教育との連携性を検討した。その結果、出された意見をそのまま列記すると、図3の通りである。

以上を要約してまとめてみると、機械工学科、電気工学科あるいは電子情報工学科では、基礎教育でCあるいはPASCALによる言語教育を実施しているのに対して、プログラミング言語を幾つも習得させるよりも、基礎的な計算機用語やその意味、計算機のハード的な内容と動作原理などを教えて、プログラムの考え方や論理の立て方から教えるべきとの意見が強かった。まず計算機への興味を持たせることが先決との意見である。専門的教育で、本格的なプログラミング作成技術を教えていくので、基礎教育で言語まで教える必要はないとのことであった。物質工学科や建築学科では、ワープロ、表計算、簡単なプログラム作成などを基礎教育としてやっているが、計算機を使ってプログラムを作り、数値シミュレーション的なことをするよりも、応用ソフトをうまく使ったの情報処理術をマスタしておけばよいので、応用ソフトを使う上での計算機操作技術や動作原理などを教えればよい。その接続として、C言語などによるプログラミングテクニックを、アド

アンケート回答結果

- 機械工学科
アンケート1（専門教育との連携）
連携していない。
リテラシ教育は必要、基礎教育の時間数が少ない。
アンケート2（現行の内容以外のふさわしい基礎教育内容）
タイピング技術、ワープロ、表計算、電子メール等は内容としては妥当。
アンケート3（共通基礎の内容の妥当性）
リテラシ+アルゴリズム+C言語
- 電気工学科
アンケート1（専門教育との連携）
連携していない。
教育するプログラミング言語が多すぎる。
アンケート2（現行の内容以外のふさわしい基礎教育内容）
ワープロ、電子メール、システム言語。その他に基礎的なハードウェアの知識（CPU、ビット、メモリなどの概念）。
アンケート3（共通基礎の内容の妥当性）
意見なし
- 電子情報工学科
アンケート1（専門教育との連携）
連携していない。
プログラミングの一般論や低レベルなアルゴリズム、それに伴う流れの考えなどを1年次にしておく。
アンケート2（現行の内容以外のふさわしい基礎教育内容）
システム言語（OSをシステム言語としてとらえずに、環境の一部としてのリテラシ教育が必要）
アンケート3（共通基礎の内容の妥当性）
リテラシと、論理手順分析のみでもよい。
- 物質工学科
アンケート1（専門教育との連携）
連携している。
アンケート2（現行の内容以外のふさわしい基礎教育内容）
電子メール。
アンケート3（共通基礎の内容の妥当性）
リテラシ中心でよい。
- 建築学科
アンケート1（専門教育との連携）
連携している。
アンケート2（現行の内容以外のふさわしい基礎教育内容）
電子メール、情報収集法、システム言語。
その他：コンピュタ一般についての教養的知識。
アンケート3（共通基礎の内容の妥当性）
リテラシとコンピュタ一般の常識的な内容。

図3 各学科からのアンケート回答結果

バンスコースとして教えていくから連携性は保たれているとの意見であった。

この様に、学科での将来の計算機の活用の背景の違いからくる意見の相違はあるものの、導入及び基礎教育として、計算機への興味を起こさせる内容を選定すべきことではどの学科も同じ考えようである。したがって、今後、この意見集約を織り込んだ内容へ基礎教育を変化させていくことが妥当のようである。しかしながら、この内容にあったテキストは、なかなか得られにくいので、授業担当者の個性が色濃くと思われるが、試行錯誤で教材研究をしながら、授業を進めて行くより方法はないのかもしれない。もう一つ考慮すべきこととして、今後は、現代の計算機ネットワーク化時代に対応した情報交換技術や通信伝達手段としての計算機活用の基礎操作法なども、コンピュタリテラシとしての教育材料として、大いに導入して行くべきであろう。

6. あとがき

本校では、平成6年度から「情報処理基礎」という名称でコンピュタリテラシを主眼にして、基礎教育を実施してきた。その成果を評価するには、時期尚早

であるが、導入時点での教育と専門学科への連携教育であることを考慮してこの時点での評価をあえて試みた。

現在の基礎教育の内容で、一応は計算機への関心を高める効果は生まれているが、プログラミング主体の教育をする学科では、専門学科での言語教育と重複して、かえって教育効果を半減している可能性もあり、専門学科の情報処理との連携効果がない。基礎の段階では、コンピュータの用語やハード的な内容に重点を置いたリテラシ教育がよいと思われるとの意見が出た。応用ソフト利用技術に重点を置く学科のリテラシ教育は、おおそ上手くいっているとの判定であった。これらに加えて、今後は、リテラシ教育に情報交換、伝達の計算機利用法も導入する必要があるだろう。計算機社会

は常に進歩していることを念頭に置いて、最新の計算機文化を取り入れる工夫を施し、いつも試行錯誤の教育方法及び教材研究をしていく必要があるのかもしれない。

最後に、本研究は、本校電子計算機室運営委員会、教務委員会及び各学科の情報処理担当教官の助言や討論が骨子になっていることを記して、関係者各位に謝意を述べる。

参 考 文 献

- [1] 平成5年度 高専情報処理研究委員会研究発表会
論文集 1993年8月, P.101.
- [2] 有明工業高等専門学校紀要 第31号, 1995年1月,
p.11.

PSEUDOCONVEXITY OF A RIEMANN DOMAIN IN INFINITE DIMENSIONAL PROJECTIVE SPACES

Tatsuhiko HONDA

Ariake National College of Technology,
Omura, Fukuoka, 836, JAPAN

1. INTRODUCTION

In this paper we shall investigate in the envelope of meromorphy of a Riemann domain over a projective space.

The Levi problem for infinite dimensional spaces has previously been investigated for less general situations by many mathematicians. M. Schottenloher [19] solved affirmatively the Levi problem for a domain over hereditary Lindelöf locally convex spaces with a finite dimensional Schauder decomposition. In particular a pseudoconvex domain over a Fréchet space with a Schauder basis is a domain of holomorphy. Therefore the envelope of meromorphy of a domain (Ω, Φ) over a Fréchet space E with a Schauder basis is a domain of holomorphy. Especially a domain of meromorphy over E coincides with a domain of holomorphy over E .

J.Kajiwara-E.Sakai [12] proved that the envelope of meromorphy of a domain over a Stein manifold with respect to a family of meromorphic functions is p_7 -convex in the sense of Docquier-Grauert and, therefore, a Stein manifold.

M. Harita [10] showed that the envelope of meromorphy of a domain (Ω, Φ) over a sequentially complete locally convex Hausdorff space over $\mathbb{C}$ is pseudoconvex.

We investigate in pseudoconvexity of a Riemann domain over a projective space induced from a Fréchet space with a Schauder basis.

2. NOTATION AND PRELIMINARIES

Let E be a locally convex space, $cs(E)$ be the set of all nontrivial continuous seminorms on E , and (Ω, Φ) be a Riemann domain over E . For $S \subset \Omega$, a convex balanced neighborhood V of 0 in E , $S + V \subset \Omega$ if for $x \in S$, there exists $\sigma : \Phi(x) + V \rightarrow \Omega$ such that $\sigma \circ \Phi(x) = x$.

We denote the distance functions $d_\Omega^\alpha : \Omega \rightarrow [0, +\infty]$, for $\alpha \in cs(E)$, and $\delta_\Omega : \Omega \times E \rightarrow (0, +\infty]$, as follows:

$$d_\Omega^\alpha(x) = \sup(\{r > 0; \text{there exists a section } \sigma : B_E^\alpha(x, r) \rightarrow \Omega \text{ with } \sigma \circ \Phi(x) = x\} \cup \{0\}),$$

$$\delta_\Omega(x, a) = \sup\{r > 0; \text{there exists a section } \sigma : D_E(x, a, r) \rightarrow \Omega \text{ with } \sigma \circ \Phi(x) = x\},$$

where for $\xi, a \in E$ and $r > 0$ we write

$$B_E^\alpha(\xi, r) = \{\xi + b; b \in E, \alpha(b) < r\}$$

$$D_E(\xi, a, r) = \{\xi + \lambda a; \lambda \in \mathbb{C}, |\lambda| < r\}.$$

If $d_\Omega^\alpha(x) > 0$, then for each $x \in \Omega$ and $r \in (0, d_\Omega^\alpha(x)]$, there is a unique set $B_\Omega^\alpha(x, r) \subset \Omega$ containing x such that $\Phi : B_E^\alpha(x, r) \rightarrow B_\Omega^\alpha(x, r)$ is a bijection. Likewise, for each $x \in \Omega, a \in E$ and $r \in (0, \delta_\Omega(x, a)]$, there is a unique set $D_\Omega(x, a, r) \subset \Omega$ containing x such that $\Phi : D_E(x, a, r) \rightarrow D_\Omega(x, a, r)$ is a bijection.

The function $d_\Omega^\alpha(x)$ is continuous, the function $\delta_\Omega(x, a)$ is lower semicontinuous, and they are related by the formula

$$d_\Omega^\alpha(x) = \inf\{\delta_\Omega(x, a); a \in E, \alpha(a) = 1\}.$$

The domain Ω is said to be *pseudoconvex* if the function $-\log \delta_\Omega$ is plurisubharmonic on $\Omega \times E$.

For a subset K of E , we set

$$\widehat{K_{ps}(E)} = \{x \in \Omega; |h(x)| \leq \sup_{z \in K} \|h(z)\| \text{ for every } h \in PS(E)\}.$$

Proposition 1. (P. Noverraz [17]) *Let E be a locally convex space and (Ω, Φ) be a Riemann domain over E . Then the following conditions are equivalent :*

- (1) Ω is pseudoconvex.
- (2) $d_\Omega^\alpha(\widehat{X_{ps}(\Omega)}) = d_\Omega^\alpha(X)$ for $X \subset \Omega, \alpha \in cs(E)$.
- (3) For all $K \subset \subset \Omega$, there exists $\alpha \in cs(E)$ such that $d_\Omega^\alpha(\widehat{K_{ps}(\Omega)}) > 0$.
- (4) For each finite dimensional subspace F of E and each relatively compact subset K of $\Phi^{-1}(F)$, $\widehat{K_{ps}(\Phi^{-1}(F))}$ is relatively compact in $\Phi^{-1}(F)$.
- (5) For each finite dimensional subspace F of E , $\Phi^{-1}(F)$ is pseudoconvex.

We conclude with a few remark on a Schauder basis. Let E be a Fréchet space. (e_n) is said to be a Schauder basis, if for all $x \in E$, we represent $x = \sum_{n=1}^\infty \xi(x)e_n$.

Let E_n be the linear span of $\{e_1, \dots, e_n\}$, $T_n : E \rightarrow E_n$ be the canonical projection. Then E has a fundamental sequence of continuous seminorms α_j with $\alpha_j = \sup_n \alpha_j \circ T_n$.

3. ENVELOPE OF MEROMORPHY

Now we shall define a meromorphic completion, an envelope of meromorphy, and a domain of meromorphy.

Let (Ω, Φ) be a domain over a locally convex space E , and f be a complex valued function defined in Ω except on an exceptional variety X , where X is closed and nowhere dense in Ω , and for every connected neighborhood U of an arbitrary point on X , $U \setminus X$ is connected. Then f is said to be *meromorphic on Ω* if

- (1) f is analytic on $\Omega \setminus X$
- (2) for a point x in X , f is unbounded in each neighborhood of x in Ω
- (3) at every point a in Ω , there exists a neighborhood U_a and two analytic functions g_a, h_a on U_a such that $g_a = h_a f$ on $U_a \setminus X$ and g_a, h_a are coprime on U_a .

g_a and h_a are called *the local numerator and denominator* of f at a respectively. They are uniquely determined apart from unit factors.

$h_a f$ is prolongeable holomorphically all over U_a including X . Since g_a and h_a are coprime and $f = \frac{g_a}{h_a}$ on $U_a \setminus X$, we have $X \cap U_a = \{x \in U_a; h_a(x) = 0\}$. We set

$$S(f, U_a) = \{x \in U_a; h_a(x) = 0\}$$

$$ID(f, U_a) = \{x \in U_a; h_a(x) = g_a(x) = 0\}$$

$$P(f, U_a) = \{x \in U_a; h_a(x) = 0, g_a(x) \neq 0\}.$$

$S(f, U_a), ID(f, U_a), P(f, U_a)$ are independent on a choice of g_a and h_a . We set $S(f) = \bigcup_{a \in \Omega} S(f, U_a)$, $ID(f) = \bigcup_{a \in \Omega} ID(f, U_a)$ and $P(f) = \bigcup_{a \in \Omega} P(f, U_a)$. Elements of $S(f), ID(f)$ and $P(f)$ is called *non-essential singular points of f* , *indetermination points of f* , and *poles of f* respectively. We have $X = S(f)$. A point of the set $\Omega \setminus X$ is called a holomorphic point.

Let (Ω', Φ') be an other domain over E , and λ be an analytic mapping of Ω in Ω' satisfies $\Phi = \Phi' \circ \lambda$. Let f be a meromorphic function on Ω . A meromorphic function f' on Ω' with $f = f' \circ \lambda$ is called *a meromorphic*

continuation of f to $(\lambda, \Omega', \Phi')$. Let $\mathfrak{F}$ be a family of meromorphic functions on Ω . If any meromorphic function of $\mathfrak{F}$ has a meromorphic continuation to $(\lambda, \Omega', \Phi')$, $(\lambda, \Omega', \Phi')$ is called a *meromorphic completion* of (λ, Ω, Φ) with respect to the family $\mathfrak{F}$. A meromorphic completion $(\widetilde{\lambda}_{\mathfrak{F}}, \widetilde{\Omega}_{\mathfrak{F}}, \widetilde{\Phi}_{\mathfrak{F}})$ with respect to the family $\mathfrak{F}$ is called an *envelope of meromorphy* of (λ, Ω, Φ) with respect to the family $\mathfrak{F}$ if the following conditions are satisfied :

Let $(\lambda', \Omega', \Phi')$ be another meromorphic completion of (Ω, Φ) with respect to $\mathfrak{F}$. Then there exists a mapping ψ of (Ω', Φ') in $(\widetilde{\Omega}_{\mathfrak{F}}, \widetilde{\Phi}_{\mathfrak{F}})$ with $\widetilde{\lambda}_{\mathfrak{F}} = \psi \circ \lambda'$ such that $(\psi, \widetilde{\Omega}_{\mathfrak{F}}, \widetilde{\Phi}_{\mathfrak{F}})$ is a meromorphic completion of (Ω', Φ') with respect to the family $\mathfrak{F}'$ of meromorphic continuation of all meromorphic functions of $\mathfrak{F}$.

If $\mathfrak{F}'$ is the family of all meromorphic functions of (Ω, Φ) , $(\widetilde{\lambda}_f, \widetilde{\Omega}_f, \widetilde{\Phi}_f)$ is called an envelope of meromorphy of (Ω, Φ) . The envelope $(\widetilde{\lambda}_f, \widetilde{\Omega}_f, \widetilde{\Phi}_f)$ of meromorphy of (Ω, Φ) with respect to the family consisting of only f is called the *domain of meromorphy* of f . A domain over E is called a *domain of meromorphy* if it is a domain of meromorphy of a meromorphic function.

Theorem 2. (P. Noverraz [17], M. Schottenloher [19], M. Harita [10])

Let E be a Fréchet space with a Schauder basis and (Ω, Φ) be a Riemann domain over E . Then the following conditions are equivalent :

- (1) (Ω, Φ) is pseudoconvex.
- (2) For each finite dimensional subspace F of E , $\Phi^{-1}(F) \cap \Omega$ is pseudoconvex.
- (3) (Ω, Φ) is a domain of holomorphy.
- (4) (Ω, Φ) is a domain of existence.
- (5) (Ω, Φ) is a domain of meromorphy.
- (6) (Ω, Φ) is an envelope of meromorphy of with respect to a family of meromorphic functions on a Riemann domain over E .
- (7) Let $M_0 = \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| \leq 1, z_2 = 0\} \cup \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| = 1, z_2 \in [0, 1]\}$ and $M_t = \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| \leq 1, z_2 \in [0, t]\} \cup \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| = 1, z_2 \in [t, 1]\}$. If f is a holomorphic mapping of a neighborhood of M_0 into Ω , then f can be holomorphically continued to a neighborhood of M_1 .

4. COMPLEX PROJECTIVE SPACES

Now we introduce the projective space. Let E be a locally convex space. Let z and z' be points in $E \setminus \{0\}$. z and z' are called to be *equivalent* if there exists $\lambda \in \mathbb{C}^*$ such that $z = \lambda z'$. We denote by $\mathbb{P}(E)$ the quotient space of $E \setminus \{0\}$ by this equivalent relation. Then $\mathbb{P}(E)$ is a Hausdorff space. The Hausdorff space $\mathbb{P}(E)$ is called the *complex projective space induced from E* . We denote by q the quotient map from $E \setminus \{0\}$ to $\mathbb{P}(E)$. For any $\xi \in E \setminus \{0\}$, we denote by $[\xi]$ the equivalent class of ξ . Let E' be the complex vector space of all continuous linear mappings from E to $\mathbb{C}$. We set

$$S_E = \{(f, a) \in E' \times E; f(a) \neq 0\}$$

For each $f \in E' \setminus \{0\}$, we define a hyperplane $E(f)$ of E and an open subset $U(f)$ of $\mathbb{P}(E)$ by

$$E(f) = \{\xi \in E; f(\xi) = 0\},$$

$$U(f) = \{[\xi] \in \mathbb{P}(E); f(\xi) \neq 0\}$$

respectively. For every $(f, a) \in S_E$, we define a homeomorphism $\varphi_{(f,a)}$ of $U(f)$ onto $E(f)$ by

$$\varphi_{(f,a)}([\xi]) = \frac{1}{f(\xi)}\xi - \frac{1}{f(a)}a$$

for every $[\xi] \in U(f)$. Then $\{U(f), \varphi_{(f,a)}\}_{(f,a) \in S_E}$ defines the complex structure of the projective space $\mathbb{P}(E)$.

Definition 3. Let E be a locally convex space and (ω, φ) be a Riemann domain over the complex projective space $\mathbb{P}(E)$ induced from E . Then the Riemann domain is said to be pseudoconvex if for each $(f, a) \in S_E$, the Riemann domain $(\varphi^{-1}(U(f)), \varphi_{(f,a)} \circ \varphi|_{\varphi^{-1}(U(f))})$ over $E(f)$ is pseudoconvex.

The following theorem is on M.Nishihara [16].

Theorem 4. Let E be a separable Fréchet space with a Schauder basis and (ω, φ) be a Riemann domain over the complex projective space $\mathbb{P}(E)$ induced from E . We assume that ω is not homeomorphic to $\mathbb{P}(E)$ through φ . Then the following statements are equivalent :

- (1) ω is pseudoconvex.
- (2) For each finite dimensional subspace F of E , $\varphi^{-1}(F) \cap \Omega$ is a Stein manifold.
- (3) ω is a domain of holomorphy.
- (4) ω is a domain of existence.

5. PSEUDOCONVEXITY

Proposition 5. Let E be a sequentially complete locally convex space and (ω, φ) be a Riemann domain over the complex projective space $\mathbb{P}(E)$ induced from E . We set

$$M_0 = \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| \leq 1, z_2 = 0\} \cup \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| = 1, z_2 \in [0, 1]\}$$

and

$$M_t = \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| \leq 1, z_2 \in [0, t]\} \cup \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| = 1, z_2 \in [t, 1]\}.$$

Let g be a holomorphic mapping of a neighborhood of M_0 into ω . We assume that if for each $(f, a) \in S_E$, there exists a 2-dimensional subspace F of $E(f)$ such that $\varphi \circ g$ is a homeomorphism of a neighborhood of M_0 into F , then g can be holomorphically continued to a neighborhood of M_1 . Then ω is pseudoconvex.

Proof. We assume that ω is not pseudoconvex. Then there exists $(f, a) \in S_E$ such that $(\varphi^{-1}(U(f)), \varphi_{(f,a)} \circ \varphi|_{\varphi^{-1}(U(f))})$ over $E(f)$ is not pseudoconvex. Therefore the function $-\log \delta_\omega(z, a)$ is not plurisubharmonic on $\varphi^{-1}(U(f))$. We put $\tilde{\varphi}_{(f,a)} = \varphi_{(f,a)} \circ \varphi$. Then there exist a point $z_0 \in \varphi^{-1}(U(f))$, an open neighborhood $U(z_0)$ of z_0 and an open neighborhood $V(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(z_0))$ of $\tilde{\varphi}_{(f,a)}(z_0)$ such that

- (1) $-\log \delta_\omega(\tilde{\varphi}_{(f,a)}^{-1}(w), a)$ is not plurisubharmonic on $V(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(z_0))$.
- (2) $\tilde{\varphi}_{(f,a)}$ is a homeomorphism of $U(z_0)$ onto $V(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(z_0))$.

For every $w \in V(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(z_0))$, we put $\tilde{\delta}(w) = \delta_\omega(\tilde{\varphi}_{(f,a)}^{-1}(w), a)$. Then there exist a point $x_0 \in U(z_0)$, a point $b \in E(f) \setminus \{0\}$, $r > 0$, $\lambda_0 \in \mathbb{C}$ and a polynomial $P(\lambda)$ of complex variable λ such that

- (1) $D_b(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0), r) \subset V(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(z_0))$.
- (2) $|\lambda_0| < r$.
- (3) $-\log \tilde{\delta}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + \lambda b) < \operatorname{Re} P(\lambda)$ for $|\lambda_0| = r$.
- (4) $-\log \tilde{\delta}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + \lambda_0 b) = \operatorname{Re} P(\lambda_0)$.

Therefore

$$\tilde{\delta}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + \lambda b) > |e^{-P(\lambda)}|$$

and for $|\lambda_0| = r$,

$$\tilde{\delta}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + \lambda_0 b) = |e^{-P(\lambda_0)}|. \quad (5.1)$$

We consider a holomorphic mapping Ψ of a neighborhood of $\lambda = 0$ into ω defined by $\Psi : \lambda \mapsto \tilde{\varphi}_{(f,a)}^{-1}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + \lambda_0 b + \lambda \tilde{\delta}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + \lambda_0 b)a)$. Then Ψ can be holomorphically continued to $\{\lambda_0 \in \mathbb{C}; |\lambda_0| < 1\}$ but can not be holomorphically continued to a neighborhood of $\lambda = e^{\sqrt{-1}\theta}$ for some $\theta \in [0, 2\pi)$. By (5.1), for $(z_1, z_2) \in \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| = r, z_2 \in [0, 1]\}$, we have

$$|z_2 e^{-P(z_1)}| \leq |e^{-P(z_1)}| < \tilde{\delta}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + z_1 b),$$

and for $(z_1, z_2) \in \{(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2; |z_1| \leq r, z_2 = 0\}$, we have $z_2 e^{-P(z_1)} = 0$. Therefore a holomorphic mapping ψ of a neighborhood of $(0, 0) \in \mathbb{C}^2$ into ω defined by $\psi : (z_1, z_2) \mapsto \tilde{\varphi}_{(f,a)}^{-1}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + z_1 b + z_2 e^{-P(z_1) + \sqrt{-1}(\theta_0 + \theta)a})$ can be holomorphically continued to a mapping of M_0 into ω , where θ_0 is the argument of $e^{P(\lambda_0)}$. Since a and b are linearly independent, $\tilde{\psi} = \tilde{\varphi}_{(f,a)} \circ \psi$ is an injective open mapping of a neighborhood of M_0 into $\{z_1 a + z_2 b; z_1, z_2 \in \mathbb{C}\}$. By the assumption, $\tilde{\psi}$ can be holomorphically continued to a neighborhood of M_1 .

On the other hand, for $z_1 = \lambda_0, z_2 = 1$, we have

$$z_2 e^{-P(z_1) + \sqrt{-1}(\theta_0 + \theta)a} = \tilde{\delta}(\tilde{\varphi}_{(f,a)}(x_0) + \lambda_0 b) e^{\sqrt{-1}\theta}.$$

Therefore ψ can not be holomorphically continued to a neighborhood of $(\lambda_0, 1)$. This is a contradiction. Thus ω is pseudoconvex. $\square$

Theorem 6. (M. Harita [10]) *Let E be a sequentially complete locally convex space and e_1 and e_2 are linearly independent vectors of E . We set*

$$M = \{z \in E; z = z_1 e_1 + z_2 e_2, |z_1| \leq 1, z_2 = 0\} \cup \{z \in E; z = z_1 e_1 + z_2 e_2, |z_1| = 1, z_2 \in [0, 1]\}$$

and

$$P = \{z \in E; z = z_1 e_1 + z_2 e_2, |z_1| \leq 1, z_2 \in [0, 1]\}.$$

If g be a meromorphic function on a neighborhood of M into ω , then g can be meromorphically continued to a neighborhood of P .

Proposition 7. *Let E be a locally convex space, (ω, φ) be a Riemann domain over the complex projective space $\mathbb{P}(E)$ induced from E , $\mathfrak{F} = \{g_i; i \in I\}$ be a family of meromorphic functions on ω , and $(\widetilde{\lambda_{\mathfrak{F}}}, \widetilde{\omega_{\mathfrak{F}}}, \widetilde{\varphi_{\mathfrak{F}}})$ be the envelope of meromorphy of (ω, φ) with respect to the family $\mathfrak{F}$. Then $\widetilde{\omega_{\mathfrak{F}}}$ is pseudoconvex.*

Proof. Let e_1 and e_2 are linearly independent vectors of $E(f)$ for $(f, a) \in S_E$. Let M and P be as Theorem 6. Let ψ be a holomorphic mapping of an open neighborhood U_0 of M_0 into $\widetilde{\omega_{\mathfrak{F}}}$ such that $\varphi_{(f,a)} \circ \tilde{\varphi_{\mathfrak{F}}} \circ \psi$ is homeomorphism of U_0 into the complex linear span $\langle e_1, e_2 \rangle$. We denote by F a complement subspace of $\langle e_1, e_2 \rangle$ in $E(f)$. We set $V_0 = \psi(U_0)$, $\tilde{\varphi}_{(f,a)} = \varphi_{(f,a)} \circ \tilde{\varphi_{\mathfrak{F}}}$, $W_0 = \tilde{\varphi}_{(f,a)}(V_0)$. Then there exists a neighborhood $\widetilde{V_0}$ of $\psi(M_0)$ in $\widetilde{\omega_{\mathfrak{F}}}$ and a neighborhood W'_0 of $\tilde{\varphi}_{(f,a)} \circ \psi(M_0)$ in $\langle e_1, e_2 \rangle$ with $W'_0 \subset W_0$ and a continuous seminorm α on F such that $\tilde{\varphi}_{(f,a)}|_{\widetilde{V_0}}$ is homeomorphism of $\widetilde{V_0}$ onto $W'_0 + B_F^\alpha(0, 1)$. We set $U'_0 = (\tilde{\varphi}_{(f,a)}|_{\widetilde{V_0}} \circ \psi)^{-1}(W'_0)$ and denote by τ the canonical isomorphism of $\mathbb{C}^2$ onto $\langle e_1, e_2 \rangle$ defined by $\tau(z_1, z_2) = z_1 e_1 + z_2 e_2$ for every $(z_1, z_2) \in \mathbb{C}^2$. Then there exists a $\varepsilon > 0$ such that

$$\{z_1 e_1 + z_2 e_2; |z_1| \leq 1 + \varepsilon, |z_2| \leq \varepsilon\} \cup \{z_1 e_1 + z_2 e_2; |z_1| = 1 + \varepsilon, -\varepsilon < \operatorname{Re} z_2 \leq 1 + \varepsilon, -\varepsilon \leq \operatorname{Im} z_2 \leq \varepsilon\}$$

is contained in $\tau(U'_0) + B_F^\alpha(0, 1)$. For every $y \in [-\varepsilon, \varepsilon]$, we set

$$M(\varepsilon, y) = \{z_1 e_1 + z_2 e_2; |z_1| \leq 1 + \varepsilon, z_2 = \sqrt{-1}y\} \\ \cup \{z_1 e_1 + z_2 e_2; |z_1| = 1 + \varepsilon, z_2 = x + \sqrt{-1}y, -\varepsilon \leq x \leq 1 + \varepsilon\}$$

and

$$P(\varepsilon, y) = \{z_1 e_1 + z_2 e_2; |z_1| \leq 1 + \varepsilon, z_2 = x + \sqrt{-1}y, -\varepsilon \leq x \leq 1 + \varepsilon\}.$$

For every $z + w \in \tau(U'_0) + B_F^\alpha(0, 1)$, we set

$$\Psi(z + w) = (\tilde{\varphi}_{(f,a)}|_{\widetilde{V_0}})^{-1}(\tilde{\varphi}_{(f,a)} \circ \psi \circ \tau^{-1}(z) + w).$$

Then Ψ is homeomorphism of $\tau(U'_0) + B_F^\alpha(0, 1)$ into $\omega_{\mathfrak{F}}$ satisfying $\Psi|_{\tau(U'_0)} = \psi \circ \tau^{-1}$ on $\tau(U'_0)$. We set

$$W = \{z_1 e_1 + z_2 e_2; |z_1| < 1 + \varepsilon, z_2 = x + \sqrt{-1}y, -\varepsilon < x < 1 + \varepsilon, -\varepsilon < y < \varepsilon\} + B_F^\alpha(0, 1)$$

and $U = (\tau(U'_0) + B_F^\alpha(0, 1)) \cup W$. Then $\tilde{\varphi}_{(f,a)} \circ \Psi$ can be holomorphically continued to $\tilde{\Psi} : W \rightarrow E(f)$. Moreover $\tilde{\Psi}$ is a locally homeomorphism of W into $E(f)$.

Let $g_i \in \mathfrak{F}$, $\tilde{g}_i$ be its meromorphically continuation to $(\tilde{\omega}_{\mathfrak{F}}, \tilde{\varphi}_{\mathfrak{F}})$. We put $h_i(w) = \tilde{g}_i \circ \Psi(w)$ for every $w \in U$, then h_i is meromorphic on U . For every $y \in [-\varepsilon, \varepsilon]$ and $w \in B_F^\alpha(0, 1)$, we set $M(y, w, \varepsilon) = w + M(y, \varepsilon)$, $P(y, w, \varepsilon) = w + P(y, \varepsilon)$. By Theorem 6, each h_i is meromorphically continued to a neighborhood of $P(y, w, \varepsilon)$. Thus there exists a meromorphically continuation $\tilde{h}_i$ of h_i to W .

We consider the sum space $\tilde{\omega}_{\mathfrak{F}} \cup W$ and identify a point $z \in \tilde{\omega}_{\mathfrak{F}}$ with a point $w \in W$ if $\tilde{\varphi}_{(f,a)}(z) = \tilde{\Psi}(w)$ and $(\tilde{g}_i)_z = (\tilde{h}_i)_w$, where $(\tilde{g}_i)_z$ means the germ of meromorphic functions at a point z defined by a meromorphic function $(\tilde{g}_i)_z$. Then we see that ψ is holomorphically continued to a neighborhood of M . Hence, by Proposition 5, $\tilde{\omega}_{\mathfrak{F}}$ is pseudoconvex. $\square$

Theorem 8. Let E be a separable Fréchet space with a Schauder basis and (ω, φ) be a Riemann domain over the complex projective space $\mathbb{P}(E)$ induced from E . We assume that ω is not homeomorphic to $\mathbb{P}(E)$ through φ . Then the following statements are equivalent :

- (1) ω is pseudoconvex.
- (2) For each finite dimensional subspace F of E , $\varphi^{-1}(F) \cap \Omega$ is a Stein manifold.
- (3) ω is a domain of holomorphy.
- (4) ω is a domain of existence.
- (5) ω is a domain of meromorphy.
- (6) ω is an envelope of meromorphy of with respect to a family of meromorphic functions on a Riemann domain over $\mathbb{P}(E)$.

REFERENCES

- [1] V. Aurich, *Der invariete Kontinuitätssatz für meromorphe Funktionen*, Man. Math., **31**, (1980), 149–166.
- [2] J. F. Colombeau, *Differential Calculus and Holomorphy*, North-Holland Math. Studies 64, 1982.
- [3] J. F. Colombeau and J. Mujica, *The Levi problem in nuclear Silva spaces*, Arkiv för Math. **18** (1980), 117–123.
- [4] J. F. Colombeau and B. Perrot, *L'équation dans les ouverts pseudo-convexes des espaces DFN*, Bull. Soc. Math. France **110** (1982), 15–26.
- [5] S. Dineen, *Sheaves of holomorphic functions on infinite dimensional vector spaces*, Math. Ann. **202** (1973), 337–345.
- [6] ———, *Complex Analysis in Locally Convex Spaces*, North-Holland Math. Studies 57, 1981.
- [7] S. Dineen and Ph. Noverraz and M. Schottenloher, *Le problème de Lévi dans certains espaces vectoriels topologiques localement convexes*, Bull. Soc. Math. France **104** (1976), 87–79.
- [8] L. Gruman, *The Levi problem in certain infinite dimensional vector spaces*, Illinois J. Math. **18** (1974), 20–26.
- [9] M. Harita, *Continuation of meromorphic functions in a domain of the Cartesian product of denumerable family of complex plane*, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. **29** (1975), 229–233.
- [10] ———, *Continuation of meromorphic functions in a locally convex space*, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. **41** (1987), 115–132.
- [11] J. Kajiwara, *Les espaces projectifs complexes de dimension infinie*, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. **30** (1976), 123–133.
- [12] J. Kajiwara and E. Sakai, *Generalization of Levi-Oka's theorem concerning meromorphic functions*, Nagoya Mem. J. **29** (1967), 75–84.
- [13] J. Mujica, *Holomorphic approximation in infinite-dimensional Riemann domains*, Studia Math. **82** (1985), 107–134.
- [14] ———, *Complex Analysis in Banach Spaces*, North-Holland Math. Studies 120, 1986.

- [15] M. Nishihara, *On a pseudoconvex domain spread over a complex projective space induced from a complex Banach space with a Schauder basis*, J. Math. Soc. Japan **39** (1987), 701–717.
- [16] ———, *On the indicator of growth of entire functions of exponential type in infinite dimensional spaces and the Levi problem in infinite dimensional projective spaces*, Portugaliae Math. **52** (1995), 61–94.
- [17] P. Noverraz, *Pseudo-converité, Converité Polynomiale et Domaines d'Holomorphie en Dimension Infinte*, North - Holland Math. Studies 3, 1973.
- [18] A. Pietsch, *Nuclear Locally Convex Spaces*, Ergebnisse der Mathematik No.66, Springer - Verlag, New York, Berlin, 1972.
- [19] M. Schottenloher, *The Levi problem for domains spread over locally convex spaces with a finite dimensional Schauder decomposition*, Ann. Inst. Fourier(Grenoble) **26** (4) (1976), 207–237.
- [20] A. V. Skorohod, *Integration in Hilbert Spaces*, Ergebnisse der Mathematik 79, Springer - Verlag, New York, Berlin, 1974.

HIGASHIHAGIO-MACHI 150, O MUTA, FUKUOKA, 836, JAPAN

Phone : +81-944-53-1011 EXT 2332

Fax : +81-944-53-1361

E-mail: honda@hagio.ie.ariake-nct.ac.jp

ON THE SMOOTHNESS OF A BOUNDARY DISTANCE FUNCTION

Fumitoshi SAKANISHI

Ariake National College of Technology, Omuta 836, Japan

ABSTRACT. In this paper, we prove that the boundary distance function induced by a Riemannian metric on a domain $D \subset \mathbb{R}^n$ is C^1 -smooth on D except a measure zero closed subset in D .

1. PRELIMINARIES

Let e be the Euclidean metric of the Euclidean space $\mathbb{R}^n$, $D \subset \mathbb{R}^n$ be a bounded domain, and $g := (g_{pq}(x))$ be a Riemannian metric of D . We set $\langle \alpha, \beta \rangle_g := {}^t \alpha g \beta$, $|\alpha|_g := \langle \alpha, \alpha \rangle_g^{1/2}$ for $\alpha, \beta \in \mathbb{R}^n$. Then we remark that if $\alpha \neq 0$, $\beta \neq 0$ and $\alpha \neq \beta$, then $|\alpha + \beta|_g < |\alpha|_g + |\beta|_g$.

We denote $\mathcal{P}$ the set of the piecewise smooth path in $\overline{D}$ which is contained in D except both end points, and denote $\ell_g[X|_a^b]$ the length of $X|_a^b \in \mathcal{P}$ with respect to g , that is to say,

$$\mathcal{P} := \{X := X|_a^b \mid X : [a, b] \rightarrow \overline{D}; \text{piecewise smooth, } X((a, b)) \subset D, a, b \in \mathbb{R}\},$$

$$\ell_g[X|_a^b] := \int_a^b |\dot{X}(t)|_{g(X(t))} dt.$$

We remark that it may be $\ell_g[X|_a^b] = +\infty$ for some $X|_a^b \in \mathcal{P}$ with $X(a) \in \partial D$.

For $x, y \in \overline{D}$, we define the distance of x and y with respect to g as

$$d_g(x, y) := \inf\{\ell_g[X|_a^b] \mid X|_a^b \in \mathcal{P}, X(a) = x, X(b) = y\}.$$

Then it hold that $d_g(z, z) = 0$, $d_g(x, y) = d_g(y, x)$ and $d_g(x, y) \leq d_g(x, z) + d_g(z, y)$ for any $x, y \in \overline{D}$ and $z \in D$. The third inequarity is shown as follows. If the right hand is infinite, then the inequarity is trivial, so we may assume that both $d_g(x, z)$ and $d_g(z, y)$ are finite. For arbitrary $\varepsilon > 0$, there are $X, Y \in \mathcal{P}$ such that $X(a) = x, X(b) = Y(b) = z, Y(c) = y$ and $\ell_g[X|_a^b] < d_g(x, z) + \varepsilon, \ell_g[Y|_b^c] < d_g(z, y)$. We set $Z|_a^c := X|_a^b + Y|_b^c$, then we have $Z|_a^c \in \mathcal{P}$ and $Z(a) = x, Z(c) = y$, so $d_g(x, y) \leq \ell_g[Z|_a^c] = \ell_g[X|_a^b] + \ell_g[Y|_b^c] < d_g(x, z) + d_g(z, y) + 2\varepsilon$ hold for any $\varepsilon > 0$.

We denote $B_g(x, \delta)$ the ball with the center x and the radius δ with respect to g , that is to say,

$$B_g(x, \delta) := \{y \in D \mid d_g(y, x) < \delta\}.$$

Then it holds that for $x_0 \in D$ and $\delta > 0$, there is M such that $B_e(x_0, \delta/M) \subset B_g(x_0, \delta) \subset B_e(x_0, M\delta)$.

We treat the geodesic. $X \in \mathcal{P}$ is called the geodesic, if X is smooth, and satisfies the O.D.E. $\ddot{X}_p(t) + \sum_{m,q,r} g^{mp}(X(t)) \Gamma_{qr}^p(X(t)) \dot{X}_q(t) \dot{X}_r(t) = 0$ for any $1 \leq p \leq n$, when $|\dot{X}(t)|_{g(X(t))} = 1$. Here $(g^{pq}) := g^{-1}$ and $\Gamma_{qr}^m := \frac{1}{2} \left(\frac{\partial g_{mq}}{\partial x_r} + \frac{\partial g_{mr}}{\partial x_q} - \frac{\partial g_{qr}}{\partial x_m} \right)$. The following Proposition about the geodesic is known.

Proposition 1. *The following (1), (2) and (3) hold.*

- (1) *If $X \in \mathcal{P}$ with $|\dot{X}|_g = 1$ satisfies $\ell_g[X|_a^b] = d_g(X(a), X(b))$, then $X|_a^b$ is the geodesic.*
- (2) *If X is the geodesic, then $\ell_g[X|_a^b] = d_g(X(a), X(b))$ holds for any a, b such that $|a - b|$ is small enough.*
- (3) *If X is the geodesic and $\delta > 0$ small enough, then $\langle \xi, \dot{X}(a) \rangle_{g(X(a))} = 0$ for any tangent vector ξ of $\partial B_g(X(a - \delta), \delta)$ at $X(a)$.*

And we have the following Lemma.

Lemma 1. *Let X, Y be geodesics with $X(0) = Y(0)$. If $\dot{X}(0) \neq \dot{Y}(0)$, then we have $d_g(X(-\delta), Y(\delta)) < 2\delta$ for $\delta > 0$ small enough.*

Proof. We set $x := X(0) = Y(0)$, $\alpha := \dot{X}(0)$, $\beta := \dot{Y}(0)$, $c := |\alpha|_{g(x)} + |\beta|_{g(x)} - |\alpha + \beta|_{g(x)} = 1 + 1 - |\alpha + \beta|_{g(x)}$, then we have $c > 0$, since $\alpha \neq \beta$. We put $Z(t) := (1-t)Y(-\delta) + tX(\delta)$, then it holds that $Z(0) = Y(-\delta)$, $Z(1) = X(\delta)$, so $Z|_0^1(t) = x + o(1)$ holds as $\delta \downarrow 0$. And $\dot{Z}(t) = X(\delta) - Y(-\delta) = (x + \alpha t) - (x + \beta t) + O(\delta^2) = \delta\{\alpha + \beta + O(\delta)\}$ holds. Then we have $|\dot{Z}(t)|_{g(Z|_0^1(t))}^2 = {}^t\dot{Z}(t)\{g(Z|_0^1(t)) - g(x)\}\dot{Z}(t) + |\dot{Z}(t)|_{g(x)}^2 = |\dot{Z}(t)|_e^2 \cdot o(1) + |\dot{Z}(t)|_{g(x)}^2 = \delta^2|\alpha + \beta + O(\delta)|_e^2 \cdot o(1) + \delta^2|\alpha + \beta + O(\delta)|_{g(x)}^2 = \delta^2 \cdot o(1) + \delta^2\{|\alpha + \beta|_{g(x)}^2 + o(1)\} = \delta^2\{(2-c)^2 + o(1)\}$. So $|\dot{Z}(t)|_{g(Z|_0^1(t))} < 2\delta$ holds for $\delta > 0$ small enough, since $0 < c < 2$. Hence we have $d_g(X(\delta), Y(-\delta)) \leq \ell_g[Z|_0^1] = \int_0^1 |\dot{Z}(t)|_{g(Z(t))} dt < \int_0^1 2\delta dt = 2\delta$. $\square$

Now we define the boundary distance function $T(x)$ with respect to g :

$$T(x) := \inf\{d_g(x, y) \mid y \in \partial D\}.$$

The following facts about $T(x)$ are shown simply. First, $T(y) \leq d_g(y, x) + T(x)$ holds for any $x \in D, y \in \overline{D}$. Because it is trivial, in case right hand is infinite. In case both $d_g(y, x)$ and $T(x)$ are finite, for any ε , there is $z \in \partial D$ such that $d_g(x, z) < T(x) + \varepsilon$. Then $T(y) < d_g(y, z) \leq d_g(y, x) + d_g(x, z) < d_g(y, x) + T(x) + \varepsilon$ hold. Next, If there is $x_0 \in D$ with $T(x_0) < +\infty$, then $T(x) < +\infty$ holds for any $x \in D$ and $T(x)$ is continuous on D . Because we have $T(x) \leq T(x_0) + d_g(x_0, x) < +\infty$. And $|T(y) - T(x)| \leq d_g(x, y) \leq M|x - y|_e$ hold for y near x and some $M < +\infty$, since $T(y) \leq d_g(y, x) + T(x)$ and $T(x) \leq d_g(x, y) + T(y)$ hold.

In blow, we assume that there is $x_0 \in D$ with $T(x_0) < +\infty$.

We remark that $T(x)$ may not be continuous on $\overline{D}$, when we define $T(y) = 0$ for $y \in \partial D$.

For $t \geq 0$, we denote D_t the set of points in D whose boundary distance with respect to g is greater than t , that is to say,

$$D_t := \{x \in D \mid T(x) > t\}.$$

Obviously, we have $D_0 = D$. But we remark that it may be $\overline{D}_t \cap \partial D \neq \emptyset$ for $t > 0$.

We give a Lemma about D_t .

Lemma 2. *For $x \in D$, we have that $B_g(x, \delta) \cap \partial D_{T(x) \pm \delta} = \emptyset$ and $\partial B_g(x, \delta) \cap \partial D_{T(x) - \delta} \neq \emptyset$ for any $0 < \delta < T(x)$.*

Proof. We set $T := T(x)$. Assume that there is $z \in B_g(x, \delta) \cap \partial D_{T-\delta}$, then we have $T = T(x) \leq d_g(x, z) + T(z) < \delta + (T - \delta) = T$, this is a contradiction. Assume that there is $z \in B_g(x, \delta) \cap \partial D_{T+\delta}$, then we have $T + \delta = T(z) \leq d_g(z, x) + T(x) < \delta + T$, this is a contradiction. Assume that $\partial B_g(x, \delta) \cap \partial D_{T-\delta} = \emptyset$, then $\varepsilon := \min\{d_g(z, z') \mid z \in \partial B_g(x, \delta), z' \in \partial D_{T-\delta}\}$ is positive. Let $X|_a^d \in \mathcal{P}$ with $X(a) \in \partial D$ and $X(d) = x$, and let $z \in \{X|_a^d\} \cap \partial B_g(x, \delta)$, $z' \in \{X|_a^d\} \cap \partial D_{T-\delta}$. Then we have $\ell_g[X|_a^d] \geq d_g(X(a), z) + d_g(z, z') + d_g(z', X(d)) \geq (T - \delta) + \varepsilon + \delta = T + \varepsilon$, so we get $T = T(x) = \inf\{\ell_g[X|_a^d] \mid X(a) \in \partial D, X(d) = x\} \geq T + \varepsilon$, this is a contradiction. $\square$

2. SMOOTHNESS OF BOUNDARY DISTANCE FUNCTION

In this section, we will prove that the boundary distance function $T(x)$ is C^1 -smooth on D except measure zero closed set.

First, we show the existence of the geodesic which give the boundary distance.

Lemma 3. For any $x \in D$, there are $\delta > 0$ and a geodesic $X|_{T(x)-\delta}^{T(x)}$ such that $X(T(x)) = x$ and $T(X(t)) = t$ hold for any t with $T(x) - \delta \leq t \leq T(x)$.

Proof. We set $T := T(x)$. By Lemma 2, for any $0 < \delta < T$, there is $z \in B_g(x, \delta) \cap \partial D_{T-\delta}$. By Proposition 1 (2), if $\delta > 0$ is small enough, there is a geodesic $X|_{T-\delta}^T$ with $X(T) = x$ and $X(T-\delta) = z$. Then we have $T(X(T)) = T$ and $T(X(T-\delta)) = T(z) = T-\delta$. Assume that there is $T-\delta < t_0 < T$ such that $T(X(t_0)) \neq t_0$. We set $t_1 := T(X(t_0))$. In case $t_0 < t_1$, we have $t_1 = T(X(t_0)) \leq d_g(X(t_0), X(T-\delta)) + T(z) = \{t_0 - (T-\delta)\} + (T-\delta) = t_0$, so this is a contradiction. In case $t_1 < t_0$, we have $T = T(x) \leq d_g(X(T), X(t_0)) + T(X(t_0)) = (T-t_0) + t_1 < T$, so this is a contradiction. Hence $T(X(t)) = t$ for any $T-\delta \leq t \leq T$. $\square$

Lemma 4. For any $x \in D$, there is the geodesic $X|_0^{T(x)}$ such that $X(T(x)) = x$ and $T(X(t)) = t$ hold for any t with $0 < t \leq T(x)$.

Proof. We set $T := T(x)$. By Lemma 3, there is $b < T$ and a geodesic $Y|_b^T$ such that $Y(T) = x$ and $T(Y(t)) = t$ for any $b \leq t \leq T$. Let $X|_a^T$ be an extension geodesic of Y , that is to say, X is a geodesic, $X(t) \in D$ for $a < t \leq T$ and $X(t) = Y(t)$ for $b \leq t \leq T$. We set $c := \inf\{c' \mid T(X(t)) = t \text{ for any } t \text{ with } c' \leq t \leq T\}$. Assume that $c > 0$. Then $T(X(c)) = c$, since T and X are continuous. By Lemma 3, for $X(c) \in D$, there are $\delta > 0$ and the geodesic $Z|_{c-\delta}^c$ such that $Z(c) = X(c)$ and $T(Z(t)) = t$ for any t with $c-\delta \leq t \leq c$. Assume that $\dot{Z}(c) \neq \dot{X}(c)$, then $d_g(X(c+\varepsilon), Z(c-\varepsilon)) < 2\varepsilon$ holds for some $\varepsilon > 0$ by Lemma 1, so we have $c+\varepsilon = T(X(c+\varepsilon)) \leq d_g(X(c+\varepsilon), Z(c-\varepsilon)) + T(X(c-\varepsilon)) < 2\varepsilon + (c-\varepsilon) = c+\varepsilon$, this is a contradiction, hence it must be $\dot{Z}(c) = \dot{X}(c)$. Then $Z(t) = X(t)$ for $c-\varepsilon \leq t \leq c$, so $T(X(t)) = T(Z(t)) = t$ for $c-\varepsilon \leq t \leq c$. This contradicts the definition of c . Hence we have $c = 0$, that is to say, $T(X(t)) = t$ for any t with $0 < t \leq T(x)$. $\square$

We denote $\mathcal{G}_x$ the set of the geodesic in Lemma 4, that is to say, for $x \in D$,

$$\mathcal{G}_x := \left\{ X|_0^{T(x)} \mid \text{geodesic, } X(T(x)) = x, T(X(t)) = t \text{ for any } t \text{ with } 0 < t \leq T(x) \right\},$$

$$\text{where } \tau(X) := \sup\{t \mid X(t) \in D\}.$$

We have some facts about $\mathcal{G}_x$. Let $X \in \mathcal{G}_x$. (1) $T(X(t)) \leq t$ holds for any t with $0 < t < \tau(X)$, since $T(X(t)) \leq d_g(X(t), X(T(x))) + T(x) = (t - T(x)) + T(x) = t$ hold for t with $T(x) < t < \tau(X)$. (2) if there is t_0 with $T(x) < t_0 < \tau(X)$ such that $T(X(t_0)) < t_0$, then $T(X(t)) < t$ holds for any t with $t_0 \leq t < \tau(X)$, since $T(X(t)) \leq T(X(t_0)) \leq d_g(X(t), X(t_0)) + T(X(t_0)) < (t - t_0) + t_0 = t$. (3) if there is t_0 with $T(x) < t_0 < \tau(X)$ such that $T(X(t_0)) = t_0$, then $T(X(t)) = t$ holds for any t with $0 < t \leq t_0$, since $t \geq T(X(t)) \geq T(X(t_0)) + d_g(X(t_0), X(t)) = t_0 - (t_0 - t) = t$.

We define the subset W in D as follows:

$$W := \{x \in D \mid T(X(t)) < t \text{ for any } t \text{ with } T(x) < t \text{ and for any } X \in \mathcal{G}_x\}.$$

We mention the properties of W .

Lemma 5. Let $z \in D, Z \in \mathcal{G}_z$ and $0 < T < T(z)$. Then $Z(T) \notin W$ and $\mathcal{G}_{Z(T)} = \{Z\}$ hold.

Proof. We set $x := Z(T)$. We have $Z \in \mathcal{G}_x, T(z) > T(x)$ and $T(Z(T(z))) = T(z)$, so $x \notin W$, by the definition of W . Let $X \in \mathcal{G}_x$. Assume that $\dot{X}(T) \neq \dot{Z}(T)$, then $d_g(Z(T+\delta), X(T-\delta)) < 2\delta$ holds for some $0 < \delta < T(z) - T$ by Lemma 1, so we have $T+\delta = T(Z(T+\delta)) \leq d_g(Z(T+\delta), X(T-\delta)) + T(X(T-\delta)) < 2\delta + (T-\delta) = T+\delta$, this is a contradiction. Hence we have $\dot{X}(T) = \dot{Z}(T)$ which leads $X = Z$. $\square$

By this Lemma 5, we have that if $x \in D \setminus W$, then $\mathcal{G}_x$ has an only one element. Because if $x \in D \setminus W$, then there is $X \in \mathcal{G}_x$ such that $T(X(t_0)) = t_0$ for some $t_0 > T(x)$ by the definition of W . We set $z := X(t_0)$, then we have $X \in \mathcal{G}_z$ and $T(x) < T(z)$. So $\mathcal{G}_x = \{X\}$ holds.

We denote $X[x]$ the unique geodesic which is belong to $\mathcal{G}_x$ for $x \in D \setminus W$, that is to say,

$$\mathcal{G}_x = \{ X[x] \} \text{ for } x \in D \setminus W.$$

We show that $\dot{X}[x](T(x))$ is continuous.

Lemma 6. $\dot{X}[x](T(x))$ is continuous.

Proof. We set $m(x) := X[x](T(x))$. Assume that there are a sequence $x_\nu \in D \setminus W$ and $x \in D \setminus W$ such that $x_\nu \rightarrow x$ and $m(x_\nu) \rightarrow \alpha \neq m(x)$. We set $T := T(x)$. Let $X|_a^T$ be a geodesic such that $X(T) = x$ and $\dot{X}(T) = \alpha$. Then $X[x_\nu]$ and X are geodesics with the initial conditions $X[x_\nu](T(x_\nu)) = x_\nu \rightarrow x = X(T)$ and $\dot{X}[x_\nu](T(x_\nu)) = m(x_\nu) \rightarrow \alpha = \dot{X}(T)$, so we have $X[x_\nu](t) \rightarrow X(t)$ for any t with $0 < t < T$, by the regularity of the solution of the O.D.E. with respect to the parameter x_ν . Hence $T(X(t)) = \lim_{\nu \rightarrow +\infty} T(X[x_\nu](t)) = \lim_{\nu \rightarrow +\infty} t = t$ hold. This means that $X \in \mathcal{G}_x$. So we have $\{X, X[x]\} \subset \mathcal{G}_x$, since $\dot{X}(T) = \alpha \neq m(x) = \dot{X}[x](T)$, this contradicts that $x \notin W$. $\square$

We give the following Lemma about the measure of W . We denote dV the Euclidean volume element of $\mathbb{R}^n$

Lemma 7. W is measurable and $\int_{\overline{W}} dV = 0$

Proof. We set $\psi_n(x) := \max \left\{ \frac{T(z) - T(x)}{r_n(x)} \mid z \in \partial B_g(x, r_n(x)) \right\}$ on D , where $r_n(x) := \min\{1/n, T(x)/2\}$. Then $\psi_n(x)$ is continuous and $\psi_n(x) \leq 1$ on D , since $T(z) - T(x) \leq d_g(x, z) = r_n(x)$ hold for $z \in \partial B_g(x, r_n(x))$. When $x \in D \setminus W$, we set $z := X[x](T(x) + r_n(x))$, then there is n such that $T(z) = T(x) + r_n(x)$, so $\psi_n(x) = 1$. Conversely, if $x \in D$ satisfies $\psi_n(x) = 1$ for some n , then there is $z \in \partial B_g(x, r_n(x))$ with $T(z) = T(x) + r_n(x)$. By Proposition 1 (2), there is a geodesic Z with $|\dot{Z}(t)|_{g(Z(t))} = 1$ and $Z(T(x)) = x, Z(T(z)) = z$, when n is large enough. Assume that $\dot{X}(T(x)) \neq \dot{Z}(T(x))$ for any $X \in \mathcal{G}_x$, then $T(z) < d_g(z, x) + T(x) = T(z)$ hold by Lemma 1, this is a contradiction, that is to say, there is $X \in \mathcal{G}_x$ with $\dot{X}(T(x)) = \dot{Z}(T(x))$, so $T(X(T(z))) = T(z)$ holds, it means that $x \in D \setminus W$. Hence we have $W = \bigcap_{n=1}^{+\infty} \{x \in D \mid \psi_n(x) < 1\}$, so W is measurable.

Next assume that $\int_{\overline{W}} dV > 0$. Then there is an open set $U \subset \overline{W}$. Let $z \in U, Z \in \mathcal{G}_z, T < T(z)$ with $y := Z(T) \in U$, then $y \notin W$ holds by Lemma 5. We set $\alpha := \dot{X}[y](T)$. Then there is $\delta > 0$ such that $|\dot{X}(T(x)) - \alpha|_e < \pi/6$ for any $X \in \mathcal{G}_x$ and any $x \in B_e(y, 2\delta) \subset U$. Because if there is x_ν and $X_\nu \in \mathcal{G}_x$ such that $x_\nu \rightarrow y$, and $\dot{X}_\nu(T(x_\nu)) \rightarrow \beta \neq \alpha$. Let X_∞ be a geodesic with $|\dot{X}_\infty|_g = 1$ and $X_\infty(T) = y, \dot{X}_\infty(T) = \beta$. Then $X_\nu(t) \rightarrow X_\infty(t)$ holds, so $T(X_\infty(t)) = t$ holds for any $0 < t < T$, that is to say, we have $X_\infty \in \mathcal{G}_y$. This contradicts that $y \notin W$. Now let H be a hyperplane through y with $\langle \alpha, H - y \rangle_e = 0$. We set $H_c := H - c\alpha, B := B_e(y, \delta), \Gamma_c := \{X(t) \mid X \in \mathcal{G}_{y'}, y' \in H \cap \overline{B}\} \cap H_c$. Then there is $c > 0$ such that $\Gamma := \Gamma_c \subset B_e(y, 2\delta)$. By Lemma 5, we have $\Gamma \subset D \setminus W$. For $x \in \Gamma$, there is $s(x)$ such that $X[x](s(x)) \in H \cap \overline{B}$. We set $\Psi : \Gamma \rightarrow H \cap \overline{B}; x \rightarrow X[x](s(x))$. Then Ψ is onto, and C^1 by the regularity of the solution of the O.D.E.. So Γ is closed and $\int_\Gamma dS > 0$, since $\int_\Gamma |\det \Psi'| dS \geq \int_{H \cap \overline{B}} dS > 0$, where dS is a surface element of Γ or $H \cap \overline{B}$ induced by the Euclidean metric of $\mathbb{R}^n$. Then there is an open set $U' \subset \mathbb{R}^n$ such that $\Gamma' := U' \cap H_c \subset \Gamma \subset D \setminus W$. We set $\Omega := \{X[x](t) \mid T(x) < t < T(x) + c', x \in \Gamma'\}$. Then Ω is open and we have $\Omega \cap H = \emptyset, \Omega \subset B_e(y, 2\delta)$ for some $c' > 0$ small enough, since $\dot{X}[x](T(x))$ is continuous on Γ' by Lemma 6. And $\Omega \subset D \setminus W$ by Lemma 5. This is a contradiction, because $\Omega \subset B_e(y, 2\delta) \subset U \subset \overline{W}$. $\square$

Now we show the smoothness of the boundary distance function $T(x)$.

Theorem 1. Let $T(x)$ and W be as above. Then $T(x)$ is C^1 -smooth on $D \setminus \overline{W}$.

Proof. We fix $x_0 \in D \setminus \overline{W}$ arbitrarily. Let $\delta > 0$ and $M < +\infty$ be real numbers such that $B_g(x_0, 3\delta) \cap \overline{W} = \emptyset$ and $d_g(x, y) \leq M d_e(x, y)$ for any $x, y \in \overline{B_g(x_0, 2\delta)}$. We set $m(x) := \dot{X}[x](T(x))$, $C(r) := \sup\{|m(x) - m(y)|_e \mid x, y \in \overline{B_g(x_0, 2\delta)} \text{ with } d_g(x, y) < r\}$. Then we have $C(r) \rightarrow 0$ as $r \downarrow 0$, since $m(x)$ is continuous, by Lemma 6. For $x \in B_g(x_0, \delta)$, we set $T := T(x)$, $y := X[x](T + \delta)$, $m := \dot{X}[x](T) = \dot{X}[y](T)$, and let $s \in \mathbb{R}$ with $|s| < \delta$. Then we have

$$\begin{aligned} |T(x + sm) - (T + s)| &\leq |T(x + sm) - T(X[y](T + s))| \leq d_g(x + sm, X[y](T + s)) \\ &\leq M|(x + sm) - X[y](T + s)|_e \\ &= M \left| sm - \int_0^s \dot{X}[y](T + t) dt \right|_e \\ &= M \left| \int_0^s \{m - \dot{X}[y](T + t)\} dt \right|_e \leq M \int_0^{|s|} C(|s|) dt \\ &= M \cdot C(|s|) \cdot |s|. \end{aligned} \quad (1)$$

Next we set $B_- := B_g(X[y](T - \delta), \delta)$ and $B_+ := B_g(X[y](T + \delta), \delta)$. Then we have $B_- \cap \partial D_T = B_+ \cap \partial D_T = \emptyset$ and $\{x\} \in \partial B_- \cap \partial D_T = \partial B_+ \cap \partial D_T$, by Lemma 2. Let H be the tangent space of $\partial B_\pm$ at x , and $\xi \in H$ with $|\xi|_{g(x)} = 1$. We set $Y(u) := x + s\xi + um$ and $L := \{Y(u) \mid |u| < |s|\}$. Let $u_-, u_+, u_0 \in \mathbb{R}$ be real numbers such that $Y(u_-) \in \partial B_- \cap L$, $Y(u_+) \in \partial B_+ \cap L$ and $Y(u_0) \in \partial D_T \cap L$. Then there is $N < +\infty$ which is independent of $x \in B_g(x_0, \delta)$ such that $|Y(u_0) - Y(0)|_e \leq |Y(u_+) - Y(u_-)|_e \leq N \cdot s^2$. So we have

$$\begin{aligned} |T(x + s\xi) - T| &= |T(Y(0)) - T(Y(u_0))| \leq d_g(Y(u_0), Y(0)) \leq M|Y(u_+) - Y(u_-)|_e \\ &\leq MNs^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Now we fix a natural number i with $1 \leq i \leq n$. Let $e_i \in \mathbb{R}^n$ be a unit vector such that i -th component is 1, and $a, b \in \mathbb{R}$ be real numbers with $e_i = a\xi + b m(x_0)$, where $\xi \in H$ is tangent vector at x_0 . We set $x := x_0 + sa\xi$ and $x' := x + sbm(x)$. Then we have

$$\begin{aligned} |T(x_0 + se_i) - T(x')| &= |T(x + sbm(x_0)) - T(x + sbm(x))| \\ &\leq d_g(x + sbm(x_0), x + sbm(x)) \leq M|sb||m(x) - m(x_0)|_e \\ &\leq M \cdot C(|sa|) \cdot |sb|, \\ |T(x') - T(x) - sb| &= |T(x + sbm(x)) - \{T(x) + sb\}| \\ &\leq M \cdot C(|sb|) \cdot |sb|, \quad (\text{by (1)}) \\ |T(x) - T(x_0)| &\leq |T(x_0 + sa\xi) - T(x_0)| \leq MN|sa|^2. \quad (\text{by (2)}) \end{aligned}$$

So we have

$$\begin{aligned} \left| \frac{T(x_0 + se_i) - T(x_0)}{s} - b \right| &\leq \frac{|T(x_0 + se_i) - T(x) - sb|}{|s|} \\ &\leq M|b|C(|sa|) + M|b|C(|sb|) + MN|s|a^2 \\ &\rightarrow 0 \text{ as } s \rightarrow 0, \end{aligned}$$

that is to say, $T(x)$ is partially differentiable at x_0 , and $\frac{\partial T}{\partial x^i}(x_0) = b$. On the other hand, we have ${}^t e_i g(x_0) m(x_0) = a {}^t \xi g(x_0) m(x_0) + b {}^t m(x_0) g(x_0) m(x_0) = b$, by Proposition 1 (3). So $(dT)(x_0) = g(x_0) m(x_0)$ holds, where $dT := \frac{\partial T}{\partial x}$. This holds for any $x_0 \in D \setminus \overline{W}$. Hence we have $(dT)(x) = g(x) m(x)$, so dT is continuous, since $g(x)$ and $m(x)$ are continuous. $\square$

From the proof of this Theorem, we have the following Corollary.

Corollary 1. $dT = gm$ and ${}^t(dT)g(dT) = 1$ hold.

Proof. Because we have ${}^t(dT)g^{-1}(dT) = {}^t m {}^t g g^{-1} gm = \langle m, m \rangle_g = 1$.

固有 2 次曲線の標準方程式のグラフから未知係数, 焦点, 離心率, 準線の幾何学的構成について

川 上 龍 男

〈平成 7 年 9 月 19 日受理〉

Geometric Constructions of the Coefficients, Foci, Eccentricities, Directrices from the Graphs of Standard Equation of Proper Quadratic Curves

In a coordinate plane, given the equations $y^2 = 4px$, $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$, and $x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1$, then as the graphs of these equations we have a parabola, ellipse, and hyperbola respectively. In this paper, we consider the converse problem of the statement. Given a graph of the standard equation of each of proper quadratic curves, i. e. parabola, ellipse, hyperbola, then we construct geometrically the unknown coefficients, foci, eccentricity and directrices of the curve, For this geometric construction we use the segments calculation by D. Hilbert, and a description of circle in some cases.

Tatuo KAWAKAMI

§1. はじめに

三つの実数の組 (a, b, c) , $a \neq 0$, が与えられたとき, 座標平面上で, 2 次関数 $y = ax^2 + bx + c$ のグラフが定まる. J. Metz [3] はこれに対する逆問題を考えた. すなわち, 座標平面上で 2 次関数 $y = ax^2 + bx + c$ のグラフが与えられたとき, 未知係数 a, b, c を幾何学的に構成する問題である. 2 次項の係数 a , および定数項 c は容易に得られるので, Metz は 1 次項の係数 b を垂直ベクトルとして構成することを考えた.

我々は, この逆問題を 3 次関数および 4 次関数のグラフの場合について考察した [6]. そこにおいて, 未知係数の幾何学的構成に対して用いられた方法は, D. Hilbert [1] による「線分算」である. 線分算では, 平行四辺形を用いて 2 数の和を作図し, 相似三角形を用いて 2 数の積を作図する.

さて, 上述の 2 次関数に関することと同様なことを, 2 次曲線に対して考えることができる. 直交座標平面において, x, y の 2 次方程式 $y^2 = 4px$, $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$ ($a > b > 0$), $x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1$ ($a > 0, b > 0$), をみたす点の軌跡はそれぞれ放物線, 楕円, 双曲線である. そこで, これらの方程式のグラフが与えられたとき, 方程式の未知係数を求める問題を考えることができる.

本論文の目的は固有 2 次曲線: 放物線, 楕円, 双曲線に対して, このような逆問題を考えることである.

すなわち, 放物線, 楕円, 双曲線が標準方程式のグラフとして与えられたとき, それらのグラフから方程式の未知係数, さらに焦点, 離心率, および準線の幾何学的構成を考える. ここで, 作図は線分算および, いくつかの場合に, 円を描くことによってなされる.

なお, C. Vanden Eynden [5] は楕円から, 楕円の補助円を用いて, その焦点を作図する簡明な方法を与えた. また, D. R. Snow [4] も, 総合的方法で, 楕円からその焦点の簡単な作図を与えた. これら両論文では, 作図についての証明はともにピタゴラスの定理を用いてなされている.

§3 において, 放物線から未知係数, 焦点, 準線を作図する.

§4 において, 楕円から焦点, 離心率, 準線を作図する.

§5 において, 双曲線から未知係数, 焦点, 離心率, および準線を作図する. なお, 本論文を書くに当たって本部均 [2] の 2 次曲線に関する部分を参照した.

§2. 準備

この節では, 以下の節での作図に必要な Hilbert による線分算について述べる.

2.1 2 数の和

座標平面で, x 軸上に 2 点 $P(a, 0)$, $Q(b, 0)$ が与えられたとする, ℓ を x 軸と異なる, x 軸に平行な直

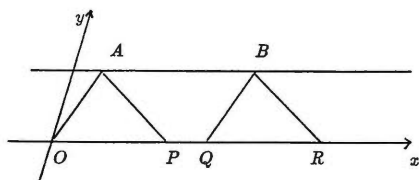


図2.1

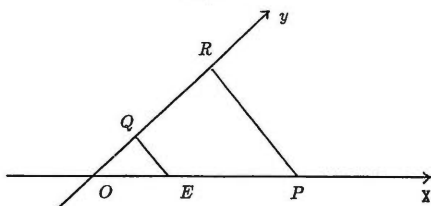


図2.2

線とする. A を ℓ 上の固定点とし, Q を通り直線 OA に平行な直線 ℓ との交点を B とする. 次に, 点 B を通り直線 AP に平行な直線と x 軸との交点を R とする, R の x 座標は和 $a+b$ である (図2.1).

2.2 2数の積

平面座標系において, x 軸上に点 $P(a, 0)$, y 軸上に点 $Q(0, b)$ が与えられとする. 点 P を通り, 2点 $E(1, 0)$, Q を結ぶ直線に平行な直線と y 軸との交点を R とすると, R の y 座標は積 ab である (図2.2).

§3. 放物線 $y^2 = 4px$ から未知係数 p , 焦点, 準線の作図

本節において, 放物線, $y^2 = 4px$ から未知係数 p の3通りの作図について述べる. ここで, $p > 0$, すなわちグラフは右側に開いている場合を考える. p の作図から焦点, 準線は容易に作図される.

3.1 作 図 (A)

* 未知係数 p の作図

1. 直線 $x=1$ と放物線との交点で x 軸より上方にある点を P とする. 点 P を通り x 軸に平行な直線と y 軸との交点を Q とすると, Q の座標は $(0, 2\sqrt{p})$ である (図3.1).
2. 原点 O を中心, 半径 OQ の円を描き, x 軸との交点で y 軸より右側にある点を R とする. 点 R を通り, 点 $(1, 0)$ と Q を結ぶ直線に平行な直線と y 軸との交点を S とすると, S の座標は $(0, 4p)$ である (図3.2).
3. 次に, 点 $(1, 0)$ を通り, 点 $(4, 0)$ と S とを結ぶ直線に平行な直線と y 軸との交点を T とすると, T の座標は $(0, p)$ となる. したがって, 係数 p が求められる (図3.3).

* 焦点の作図

点 T を通り, 点 $(0, 1)$, $(1, 0)$ を結ぶ直線に平行な直線と x 軸との交点を F とすると, F の座標は $(p, 0)$ である. したがって, 焦点が求められる (図3.4).

* 準線の作図

点 T を通り, 点 $(0, 1)$, $(-1, 0)$ を結ぶ直線に平行な直線と x 軸との交点を H とする. H の x 座標は $-p$ である. したがって, 点 H を通り, y 軸に平行な直線は, 与えられた放物線の準線である. (図3.5).

注意; 上記の点 H, F は, 原点 O を中心とし半径 OT の円と x 軸との交点としても直ちに得られる (図3.6).

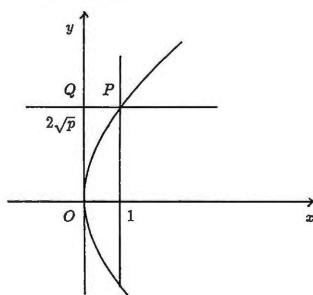


図3.1

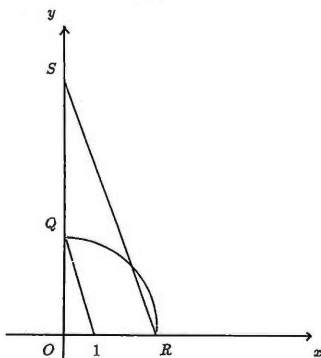


図3.2

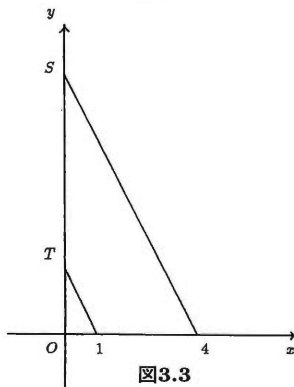


図3.3

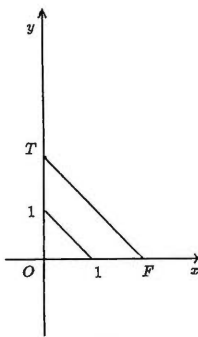


図3.4

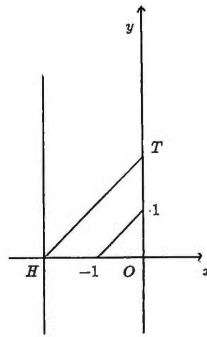


図3.5

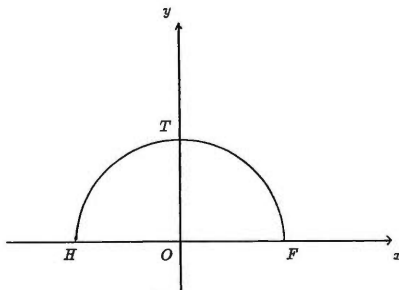


図3.6

3.2 作 図 (B)

* 未知係数 p の作図

1. 点 $(0, 2)$ を通り, x 軸に平行な直線と放物線 $y^2 = 4px$ との交点を P とする. 点 P を通り, y 軸に平行な直線と x 軸との交点を Q とすると Q の座標は $(1/p, 0)$ である (図3.7).
2. 点 $(1, 0)$ を通り, Q と $(0, 1)$ を結ぶ線分に平行な直線と y 軸との交点を R とすると R の座標は $(0, p)$ となり p が求められる (図3.8).
3. 原点 O を中心とし, 半径 OR の円を描き x 軸との交点 H, F を求めると, 3.1節注意によって準線, 焦点が作図される.

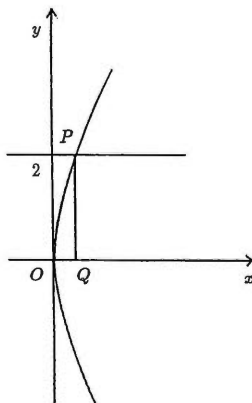


図3.7

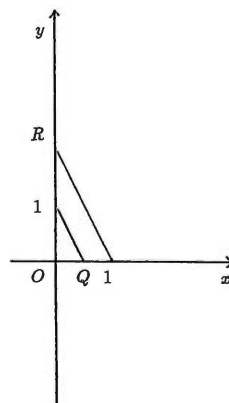


図3.8

3.3 作 図 (C)

* 未知係数 p の作図

1. 2 定点 $A(-1, 0)$, $B(0, 2)$ に対して, 原点 O を通り, 直線 AB に平行な直線をひき与えられた放物線 $y^2 = 4px$ との O と異なる交点を C とすると, C の座標は $(p, 2p)$ である. 点 C を通り y 軸に平行な直線と x 軸との交点を F とすると F の x 座標は p であり, 係数 p が作図される (図3.9).

* 焦点の作図

1. で作図された点 F の座標は $(p, 0)$ であるから F は焦点である (図3.9).

* 準線の作図

点 C から x 軸に平行な直線をひき, y 軸との交点を D とすると, D の座標は $(0, 2p)$ である. OC , CD を隣り合う 2 辺とする平行四辺形の第 4 の頂点を E とすると, E は x 軸上にあり E の x 座標は $-p$ である. E を通り y 軸に平行な直線をひくことで, 準線 $x = -p$ が作図される (図3.10).

注意; 原点 O を中心とし, 半径 OF の円と x 軸との交点で F でない点を E としても準線は容易に作図される.

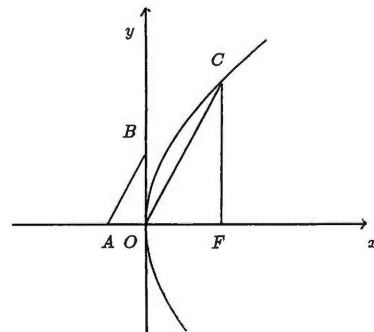


図3.9

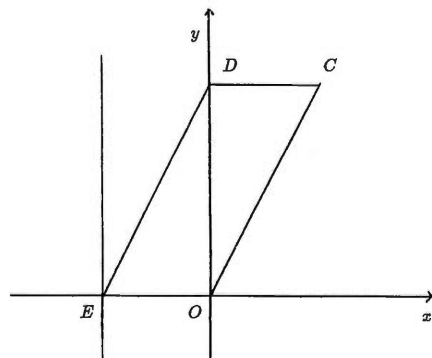


図3.10

§ 4. 楕円 $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$ ($a > b > 0$) からその係数 a, b , 焦点, 離心率, 準線の作図

* 与えられた楕円の未知係数 a, b はそれぞれ x 軸, y 軸との交点の正の x 座標, y 座標である.

* 焦点の作図

1. 与えられた3点 $E(1, 0)$, $A(a, 0)$, $B(0, a)$ に対して, A を通り直線 EB に平行な直線をひき y 軸との交点を C とすると, C の y 座標は a^2 である (図4.1).
2. 与えられた3点 $E(1, 0)$, $D(b, 0)$, $L(0, b)$ に対して, D を通り直線 EL に平行な直線をひき, y 軸との交点を G とすると, G の y 座標は b^2 である (図4.2).
3. $A(a, 0)$, $C(0, a^2)$, $G(0, b^2)$ に対して, C を通り直線 GA に平行な直線と点 A を通り y 軸に平行な直線との交点を H とすると, H の座標は $(a, a^2 - b^2)$ である. したがって, 点 H を通り x 軸に平行な直線をひき y 軸との交点を I とすると I の y 座標は $a^2 - b^2$ である (図4.3).
4. y 軸上の2点 $I(0, a^2 - b^2)$, $J(0, -1)$ を直径の両端とする円 $x^2 + \{y - (a^2 - b^2 - 1)/2\}^2 = \{(a^2 - b^2 + 1)/2\}^2$ を描き, x 軸との交点を F , F' とする. ただし, F は F' の右側の点とする. F, F' の座標は, $F(\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$, $F'(-\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$ となり, 楕円の焦点が得られる (図4.4).

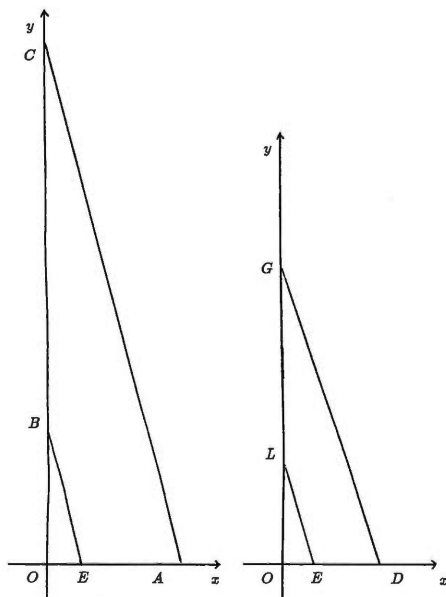


図4.1

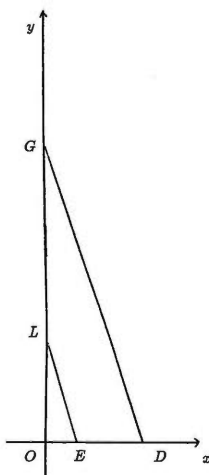


図4.2

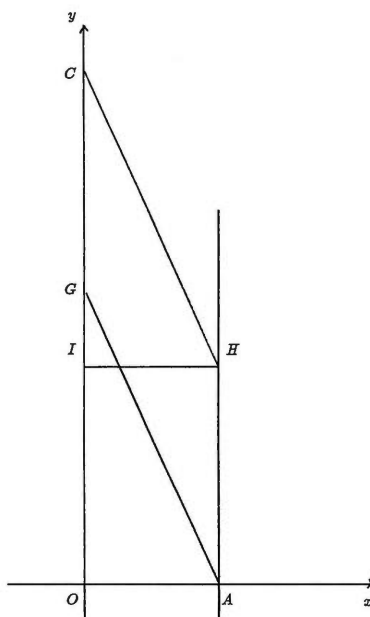


図4.3

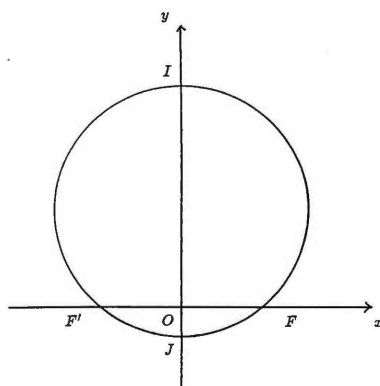


図4.4

* 離心率の作図

3点 $A(a, 0)$, $M(0, 1)$, $F(\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$ に対して F を通り直線 AM に平行な直線をひき, y 軸との交点を N とすると, N の y 座標は $\sqrt{a^2 - b^2}/a$ となり, 楕円の離心率 $e = \sqrt{a^2 - b^2}/a$ が作図される (図4.5).

注意: 点 $F(\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$ は原点 O と点 $A(a, 0)$ の間にある. したがって, 上の作図から, 楕円の離心率 e に対し, $0 < e < 1$ であることは点 N が O と M の間にあることとして図形的に説明される.

* 準線の作図

3点 $A(a, 0)$, $M(0, 1)$, $N(0, e)$ に対して, M を通り直線 NA に平行な直線と x 軸との交点を P とすると P の x 座標は a/e となる. 点 P を通

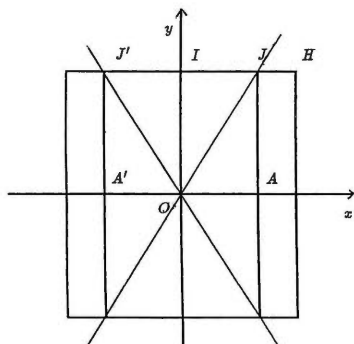


図5.4

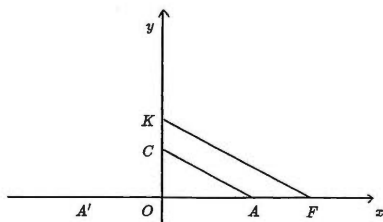


図5.5

* 漸近線の作図

焦点の作図における円と直線 IJ の交点で J と異なる点を J' とすると, J, J' の座標はそれぞれ $(a, b), (-a, b)$ である.

直線 OJ の方程式は, $y = (b/a)x$ であり, 直線 OJ' の方程式は, $y = -(b/a)x$ であるから, OJ, OJ' は双曲線の漸近線である (図5.4).

* 離心率の作図

3点 $A(a, 0), C(0, 1), F(\sqrt{a^2 + b^2}, 0)$ に対して, F を通り直線 AC に平行な直線と y 軸との交点を K とすると, K の y 座標が $\sqrt{a^2 + b^2}/a$ となり双曲線の離心率 $e = \sqrt{a^2 + b^2}/a$ が作図される (図5.5).

注意; 点 F は A より右側にあるから, 点 K は C より上側にある. したがって, 双曲線の離心率 e に対し, $e > 1$ であることは点 K が C より上側にあることとして図形的に説明される.

* 準線の作図

3点 $A(a, 0), C(0, 1), K(0, e)$ に対して, $C(0, 1)$ を通り直線 KA に平行な直線と x 軸との交点を L とすると L の x 座標が a/e である. 3点

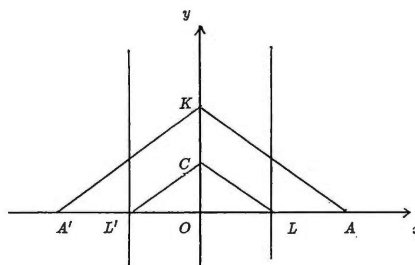


図5.6

$A'(-a, 0), C(0, 1), K(0, e)$ に対して, $C(0, 1)$ を通り直線 KA' に平行な直線と x 軸との交点を L' とすると, L' の x 座標が $-a/e$ である.

2点 L, L' をそれぞれ通り y 軸に平行な2直線 $x = a/e, x = -a/e$ が双曲線の準線である (図5.6).

注意; 図5.3において, 原点 O を中心, 半径 $\sqrt{a^2 + b^2}$ の円と y 軸との交点を $F^*, F^{*'}$ とすると, $F^*, F^{*'}$ は双曲線 $x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1$ の共軛双曲線 $x^2/a^2 - y^2/b^2 = -1$ の焦点である.

また, 図5.4の2直線 $x/a - y/b = 0, x/a + y/b = 0$ は共軛双曲線の漸近線である.

引用・参考文献

- [1] D. Hilbert, Grundlagen der Geometrie, 9. Aufl., B. G. Teubner, Stuttgart, 1962.
- [2] 本部 均, 解析幾何学 (基礎数学講座4), 共立出版 1959.
- [3] J. Metz, Seeing b in $y = ax^2 + bx + c$, Mathematics Teacher, **87**, No. 1 (1994), 23-25.
- [4] D. R. Snow, Foci found, Mathematics Teacher, **87**, No. 8 (1994), 587.
- [5] C. Vanden Eynden, Where are the foci?, Mathematics Teacher, **87**, No. 4 (1994), 227.
- [6] K. Yamaguti and T. Kawakami, A study of teaching materials of high school mathematics from geometric viewpoint—Geometric construction of the coefficients from the graphs of cubic functions and quartic functions—, J. Fac. Intern'l Stud, Culture, Kyushu Sangyo Univ., No. 3 (1995), 103-116.

Wilson 式および ASOG 式による減圧下の気液平衡の推算

渡 辺 徹*・本 田 克 美**・荒 井 康 彦***

〈平成 7 年 10 月 2 日受理〉

Prediction of Vapor-Liquid Equilibria under Reduced Pressures
by Wilson Equation and ASOG Model

Vapor-liquid equilibria under reduced pressures were correlated by using liquid-phase activity coefficient equations. Several binary systems were studied. Those systems are heptane (1)-toluene (2) system (nonpolar-nonpolar mixture), 1-butanol(1)-ethylbenzene (2) system (polar-nonpolar mixture; azeotropic mixture), ethanol (1)-water (2) system (polar-polar mixture; azeotropic mixture), and water (1)-1, 4-dioxane (2) system (polar-polar mixture; azeotropic mixture).

Both Wilson equation and ASOG model were applied to correlate the liquid-phase activity coefficients, the x - y relations and x - t relations of the binary systems. It is noted that the correlation performance of Wilson equation is slightly better than that of ASOG model for x - t relations, while it is almost same for x - y relations except water (1)-1, 4-dioxane (2). And the discrepancy from literature data of x - y relations and x - t relations was dependent on the accuracy for liquid-phase activity coefficient prediction in general.

Keywords: Vapor-liquid equilibrium, Reduced pressures, Activity coefficient, Wilson equation, ASOG model

Toru WATANABE, Katsumi HONDA and Yasuhiko ARAI

1. 緒 言

化学工業では、蒸留、ガス吸収、液液抽出、晶析などによる成分分離法が広く用いられているが、これらの操作はいずれも平衡分離操作を利用する分離法である。したがって成分分離プロセスの開発や設計にあたっては、気液平衡、液液平衡、固液平衡などの相平衡の知識が不可欠である。

前報¹⁾で報告したように活量係数 γ が圧力の影響を受けないと仮定すれば、適当な活量係数を用いることで種々の全圧下での x - y 関係が計算できる。活量係数を液組成の関数として数学的に表す試みは古くから行われており、現在最も広く用いられている活量係数式は、局所モル分率の概念を用いた Wilson 式である。この式の特徴は活量係数を系を構成している 2 成分系のデータだけから求められる点である。よって Wilson 式は基本的には気液平衡データを相関する式となる。

さらに、系を作っている各成分の化学式に基づいて

活量係数を推算する ASOG 式は、Wilson 式と違って、気液平衡データを必要としない推算式である。本論文では、Wilson 式と ASOG 式を用いて低圧下の気液平衡データの相関を試み検討を加えたので報告する。

2. 理 論

一般に気液平衡データは次式で与えられる。

$$Py_i = x_i \gamma_i p_i^{\circ} \quad (1)$$

ここで飽和蒸気圧 p_i° は Antoine 式で与えられているので、活量係数 γ_i が与えられると次のように x - y 関係が計算できることになる。たとえば 2 成分系であれば式 (1) より次式を得る。

$$p_1 + p_2 = P(y_1 + y_2) = P = x_1 \gamma_1 p_1^{\circ} + x_2 \gamma_2 p_2^{\circ} \quad (2)$$

式 (2) において試行法により全圧 P ($= p_1 + p_2$) となるように、ある液相組成 x_1 における沸点 t を求める。さらに気相組成は次式で計算する。

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 \gamma_1 p_1^{\circ} / P \\ &= x_1 \gamma_1 p_1^{\circ} / (x_1 \gamma_1 p_1^{\circ} + x_2 \gamma_2 p_2^{\circ}) \end{aligned} \quad (3)$$

*有明高専・工化, **, *** 九大・工・化機

2.1 Wilson 式²⁾

活量係数を与える式として、広く用いられているものに次の Wilson 式がある。2 成分系については次式のようなになる。

$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12}x_2) + x_2\{\Lambda_{12}/(x_1 + \Lambda_{12}x_2) - \Lambda_{21}/(\Lambda_{21}x_1 + x_2)\} \quad (4)$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + \Lambda_{21}x_1) - x_1\{\Lambda_{12}/(x_1 + \Lambda_{12}x_2) - \Lambda_{21}/(\Lambda_{21}x_1 + x_2)\} \quad (5)$$

$$\Lambda_{12} = v_2/v_1 \exp\{-(\lambda_{12} - \lambda_{11})/RT\} \quad (6)$$

$$\Lambda_{21} = v_1/v_2 \exp\{-(\lambda_{21} - \lambda_{22})/RT\} \quad (7)$$

ここで v_1 , v_2 は純成分 1 および 2 のモル体積である。

Λ_{12} および Λ_{21} が 2 成分系パラメータであり、これらのパラメータは一般には気液平衡データ (x - y) から非線形最小二乗法を用いて決定されるが、ここでは気液平衡データ集^{3), 4)}に示されている推奨値を用いることにした。

2.2 ASOG 式^{5), 6)}

化学工業で対象とする混合物について、すべての 2 成分系のデータが存在することはまれである。従って、2 成分系データから多成分系を推算するのではなく、2 成分系をも含めて多成分系を推算できるモデルが望まれる。その目的で開発されたのがグループ溶液モデルである。グループ溶液モデルとは、分子をグループ (化学的基団: CH_2 , OH , COO , ...) に分割し、溶液の物性はそれに含まれているグループの性質によって推算できるプログラムである。現在、化学工業で取り扱われている物質は約 10^3 といわれているが、それらの物質をグループに分割すると数十のグループによって構成されていることがわかる。この活量係数推算のためのグループ溶液モデルとして用いられているものに ASOG 式がある。

一般に溶液中の成分 i の活量係数を γ_i とすると、 $\ln \gamma_i$ は溶液中の成分分子の大きさの違いによる寄与を示す $\ln \gamma_i^{FH}$ とグループ間の相互作用による寄与を示す $\ln \gamma_i^G$ の和として、次式で表される。

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^{FH} + \ln \gamma_i^G \quad (8)$$

ここで、 $\ln \gamma_i^{FH}$ は、次式で与えられる。

$$\ln \gamma_i^{FH} = \ln(\nu_i^{FH} / \sum_j \nu_j^{FH} x_j) + 1 - (\nu_i^{FH} / \sum_j \nu_j^{FH} x_j) \quad (9)$$

ただし、 ν_i^{FH} は純成分 i 中の水素原子を除いた原子の数、 x_j は溶液中の成分 j のモル分率であり、 $\sum_j$ は溶液中の全成分について和をとることを意味する。

一方、グループ間相互作用による寄与 $\ln \gamma_i^G$ は、溶液中の各グループの寄与の和で与えられるものとし、グループ活量係数 Γ を用いて次式で表される。

$$\ln \gamma_i^G = \sum_k \nu_{ki} (\ln \Gamma_k - \ln \Gamma_k^{(i)}) \quad (10)$$

ただし、 ν_{ki} は成分 i 中のグループ k の数、 Γ_k は溶液中のタイプ k のグループ活量係数、 $\Gamma_k^{(i)}$ は標準状態 (純成分 i) におけるタイプ k のグループ活量係数である。

溶液中のタイプ k のグループ活量係数 Γ_k は、一般に溶液中の各グループのグループ分率と温度の関数で表され、次式で表現される。

$$\ln \Gamma_k = -\ln \sum_l X_l a_{kl} + 1 - \sum_l (X_l a_{lk} / \sum_m X_m a_{lm}) \quad (11)$$

ここで、 a_{kl} はグループ k と l によって定められるグループ Wilson パラメータ ($a_{kl} \neq a_{lk}$)、 X はグループ分率であり、一般に溶液中のグループ k に対して次式で与えられる。

$$X_k = \sum_i X_i \nu_{ki} / \sum_i (X_i \sum_k \nu_{ki}) \quad (12)$$

なお、式 (11) の $\sum_l$, $\sum_m$ は全グループについて行い、式 (12) の $\sum_i$ は全成分、 $\sum_k$ は全グループについて行う。

以上からグループ Wilson パラメータ a を決定すれば、グループ活量係数が求められる。ただし、同一のグループ対についても a は温度の関数となるので a の温度依存性を考慮する必要があり、次式で表される。

$$\log a_{kl} = m_{kl} + n_{kl}/T \quad (13)$$

ここで、 m_{kl} , n_{kl} はグループ k と l についてのグループ対パラメータ ($m_{kl} \neq m_{lk}$, $n_{kl} \neq n_{lk}$) である。したがって、着目するグループの溶液について、最小限のデータを用い、グループ対パラメータ m , n を決定すれば、任意の温度におけるグループ Wilson パラメータ a が求まり、同じグループから成る溶液中の成分の活量係数が広く推算できる。

3. 推算手順

対象とする系としては、なるべくいろいろなタイプとなるように、極性・非極性混合液および共沸・非共沸混合液の組み合わせから成る 4 種類の系を選んだ。

表 1 Antoine 式

物質	A	B	C	適用範囲 [mmHg]	出典
ヘプタン	6.9024	1268.12	216.900	760	4
	6.89798	1265.23	216.533	400, 200, 100	4
トルエン	6.95334	1343.94	219.377	760	4
	6.96554	1351.27	220.191	400	4
	6.95755	1346.38	219.642	200, 100	4
1-ブタノール	7.65521	1462.06	188.7	760, 100	4
エチルベンゼン	6.95719	1424.26	213.206	760, 100	4
エタノール	8.24739	1670.41	232.959	760	4
	8.04494	1554.3	222.65	500, 250, 100, 50	4
水	7.95864	1663.13	227.528	760 (エタノール-水系)	4
	7.96681	1668.21	228	760 (1,4ジオキサン-水系)	3
	7.96681	1668.21	228	500	4
	8.10765	1750.29	235	250, 100, 50	4
1,4ジオキサン	7.91892	1895.997	275.18	760, 100, 50	3

$$\log p_i^{\circ} = A - B/(t + C), \quad p_i^{\circ}: \text{蒸気圧 [mmHg]}, \quad t[^{\circ}\text{C}]$$

表 2 Wilson 式のパラメータ

2成分系	Λ_{12}	Λ_{21}	適用範囲 [mmHg]	出典
ヘプタン (1) - トルエン (2)	0.67523	1.06001	760	4
	0.53062	1.18584	400	4
	0.53877	1.13425	200	4
	0.65849	0.97791	100	4
1-ブタノール (1) - エチルベンゼン (2)	0.51310	0.57094	760	4
	0.18033	0.57765	100	4
エタノール (1) - 水 (2)	0.22433	0.80814	760	4
	0.16240	0.88292	500	4
	0.13044	0.96906	250	4
	0.15348	0.89934	100	4
	0.18482	0.71159	50	4
水 (1) - 1,4ジオキサン (2)	0.41605	0.16242	760	3
	0.49489	0.22907	100	3
	0.42544	0.29351	50	3

表 3 ASOG 式のグループパラメータ^{6), 7)}

l	CH ₂		ArCH		OH		O	
	m_{kl}	n_{kl}	m_{kl}	n_{kl}	m_{kl}	n_{kl}	m_{kl}	n_{kl}
CH ₂	0	0	-0.3239	63.41	-17.9145	3338.2	-0.60089	263.36
ArCH	0.3169	-76.78	0	0	0.98507	-482.72	—	—
OH	2.0466	-1328.9	-0.2545	-407.8	0	0	0.1846	-206.2
O	0.3329	-192.8	—	—	-0.54804	165.3	0	0

3.1 Wilson 式による計算

試行法 (はさみうち法) により, 式 (2) の計算値が測定された全圧 $P (= p_1 + p_2)$ となるようにある液相組成 x_1 における沸点 t を求めるプログラムを作成する。これに気液平衡データ集^{3), 4)} に示されている各系の Wilson パラメータ値と, 全圧, Antoine 定数を代入し, 求めた気液平衡推算値と文献値とを比較した。

表 1 に計算した各系の Antoine 定数を示す。また, 表 2 に各系の Wilson パラメータを示す。

3.2 ASOG 式について

ASOG 式の気液平衡推算のプログラムを作成し, 文献に示されているグループ対パラメータ値 m_{kl} , n_{kl} と成分 i 中のグループ k の数 ν_{ki} , 成分 i 中の水素原子を除いた原子の数 ν_j^{FH} を代入し, 各系の気液平衡推算を行い, これと文献値とを比較した。

表 3 に計算に使用した ASOG 式のグループ対パラメータ m_{kl} , n_{kl} を示し, 表 4 に ν_{ki} と ν_i^{FH} の数値を示す。

表 4 $\nu_{k,i}$, ν_i^{FH} の数値

系	ν_i^{FH}		$\nu_{k,i}$	出典
	ν_1^{FH}	ν_2^{FH}		
ヘプタン (1) — トルエン (2)	7		$\nu_{CH_2,1} = 7, \nu_{ArCH,1} = 0$ $\nu_{CH_2,2} = 1, \nu_{ArCH,2} = 6$	6
1-ブタノール (1) — エチルベンゼン (2)	5	7	$\nu_{CH_2,1} = 4, \nu_{ArCH,1} = 0, \nu_{OH,1} = 1$ $\nu_{CH_2,2} = 2, \nu_{ArCH,2} = 6, \nu_{OH,2} = 0$	6
エタノール (1) — 水 (2)	3	8	$\nu_{CH_2,1} = 2, \nu_{OH,1} = 1$ $\nu_{CH_2,2} = 0, \nu_{OH,2} = 1.6$	5
水 (1) — 1, 4 ジオキサン (2)	1	1	$\nu_{H_2O,1} = 1.6, \nu_{CH_2,1} = 0, \nu_{O,1} = 1$ $\nu_{H_2O,2} = 0, \nu_{CH_2,2} = 6, \nu_{O,2} = 2$	7
		6		

表 5 ヘプタン (1) — トルエン (2) 系減圧気液平衡の相関結果

全圧 [mmHg]	$\Delta y_1^* \times 100$		$\Delta t^{**} [^\circ C]$		Wilson 式			ASOG 式		
	Wilson 式	ASOG 式	Wilson 式	ASOG 式	$\Delta \gamma_1^{***}$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$	$\Delta \gamma_1$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$
760	0.33	0.32	0.06	0.36	0.0161	0.0071	0.0116	0.0149	0.0263	0.0206
400	0.49	0.54	0.08	0.44	0.0152	0.0187	0.0170	0.0416	0.0096	0.0256
200	0.57	0.44	0.11	0.21	0.0140	0.0207	0.0174	0.0302	0.0108	0.0205
100	0.46	0.49	0.16	0.13	0.0153	0.0219	0.0186	0.0178	0.0229	0.0204
平均	0.46	0.45	0.10	0.29	0.0152	0.0171	0.0162	0.0261	0.0174	0.0218

$$*\Delta y = \left(\sum_{n=1}^n |y_{1,n}^{Exp} - y_{1,n}^{Calc}| \right) / n, **\Delta t = \left(\sum_{n=1}^n |t_n^{Exp} - t_n^{Calc}| \right) / n, ***\Delta \gamma_i = \left(\sum_{n=1}^n |\gamma_{i,n}^{Exp} - \gamma_{i,n}^{Calc}| \right) / n, n = \text{データ数}$$

表 6 1-ブタノール (1) — エチルベンゼン (2) 系減圧気液平衡の相関結果

全圧 [mmHg]	$\Delta y_1^* \times 100$		$\Delta t^{**} [^\circ C]$		Wilson 式			ASOG 式		
	Wilson 式	ASOG 式	Wilson 式	ASOG 式	$\Delta \gamma_1^{***}$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$	$\Delta \gamma_1$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$
760	1.05	0.66	0.28	0.43	0.0587	0.0295	0.0441	0.0620	0.1026	0.0823
100	1.07	1.27	0.33	0.34	0.1943	0.1081	0.1512	0.0891	0.0393	0.0642
平均	1.06	0.97	0.31	0.39	0.1265	0.0688	0.0977	0.0756	0.0710	0.0733

表 7 エタノール (1) — 水 (2) 系減圧気液平衡の相関結果

全圧 [mmHg]	$\Delta y_1^* \times 100$		$\Delta t^{**} [^\circ C]$		Wilson 式			ASOG 式		
	Wilson 式	ASOG 式	Wilson 式	ASOG 式	$\Delta \gamma_1^{***}$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$	$\Delta \gamma_1$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$
760	0.06	0.79	0.04	0.34	0.0017	0.0082	0.0050	0.0506	0.0365	0.0436
500	0.52	0.87	0.16	0.33	0.0466	0.0158	0.0312	0.0640	0.0351	0.0496
250	1.48	1.17	0.49	0.48	0.1148	0.0486	0.0817	0.0954	0.0360	0.0657
100	1.31	1.26	0.24	0.36	0.1112	0.0343	0.0728	0.1130	0.0165	0.0648
50	1.88	1.31	0.39	0.75	0.1720	0.0989	0.1355	0.1539	0.0423	0.0981
平均	1.05	1.08	0.26	0.45	0.0893	0.0411	0.0652	0.0954	0.0333	0.0644

表 8 水 (1) — 1, 4 ジオキサン (2) 系減圧気液平衡の相関結果

全圧 [mmHg]	$\Delta y_1^* \times 100$		$\Delta t^{**} [^\circ C]$		Wilson 式			ASOG 式		
	Wilson 式	ASOG 式	Wilson 式	ASOG 式	$\Delta \gamma_1^{***}$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$	$\Delta \gamma_1$	$\Delta \gamma_2$	$(\Delta \gamma_1 + \Delta \gamma_2)/2$
760	2.25	3.42	0.41	0.51	0.2365	0.1157	0.1761	0.2021	0.2438	0.2230
100	1.50	2.83	0.26	0.67	0.1371	0.0895	0.1133	0.2060	0.1908	0.1984
50	1.67	2.61	0.88	0.35	0.1180	0.1043	0.1112	0.1274	0.1217	0.1246
平均	1.81	2.95	0.52	0.51	0.1639	0.1032	0.1335	0.1785	0.1854	0.1820

4. 相 関 結 果

測定データのばらつきが大きいほど誤差が大きくなるので、測定データに平滑化されたデータ⁴⁾を用いた。また、測定データの偏りによる誤差への影響をなくするため、 x を 0.1 刻みにした。

表 5 にヘプタン—トルエン系、表 6 に 1-ブタノール

—エチルベンゼン系、表 7 にエタノール—水系、表 8 に水—1, 4 ジオキサン系における Wilson 式と ASOG 式の相関結果を示す。表 5 から表 7 までは、共通して Δy_1 は Wilson 式と ASOG 式についてほとんど差がないが、 Δt はすべて ASOG 式の方が大きくなっている。ただし、表 8 では Δy_1 は ASOG 式の方が大きく、 Δt は Wilson 式と ASOG 式についてほとんど差

がない。また、一般的に活量係数の計算値と測定値との誤差 $\Delta\gamma$ が大きくなる程、 Δy_1 、 Δt も大きくなっている。

なお、参考までに図1から図6までに1-ブタノール-エチルベンゼン系の760 mmHg と100 mmHg における $x-y$ 線図、 $x-t$ 線図、 $x-\gamma_1$ 、 γ_2 線図を示す。

5. 考 察

表5から表7までの Wilson パラメータ Λ_{12} と Λ_{21} は各圧力における推奨値であるため、 Δt は Wilson 式の方が ASOG 式より小さくなったと考えられる。

表8の水-1,4ジオキサン系について、 $\nu_{k,i}$ 、 ν^{FH} は文献における値⁷⁾を用いた。 Δt は両式についてほとんど差がなかったが、 Δy_1 は ASOG 式の方が大き

くなった。今後 $\nu_{k,i}$ 、 ν^{FH} 値について検討する必要がある。

また、一般的に活量係数の誤差が小さいほど Δt 、 Δy_1 が小さくなっている。

図2にみられるように1-ブタノール低濃度域でのデータ(平滑化されているもの)のばらつきにおいては、その原因について不明である。ちなみに他の系については、ばらつきは見られなかった。

前報では、Wilson 式を用いた同様の操作を行った。その際、Wilson パラメータ値には、760 mmHg で決定されたものを用いたが、減圧下の気液平衡もほぼ良好に計算される。しかし、パラメータ値が得られるならば、減圧下のデータで決定された Wilson パラメータ値を用いる方がより良好な結果が得られる。

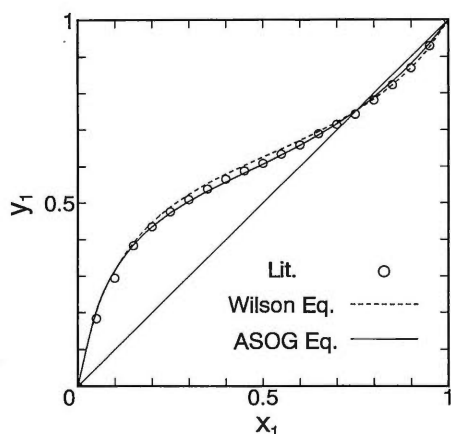


図1 1-ブタノール(1)-エチルベンゼン(2)系の $x-y$ 線図 (760 mmHg)

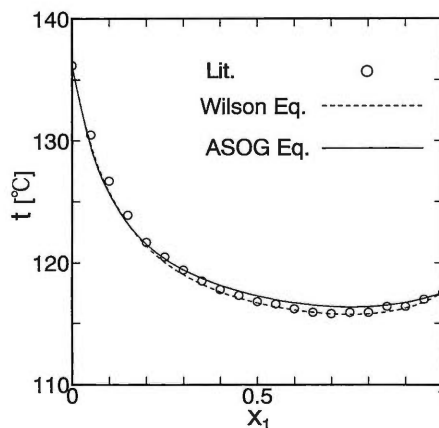


図3 1-ブタノール(1)-エチルベンゼン(2)系の $x-t$ 線図 (760 mmHg)

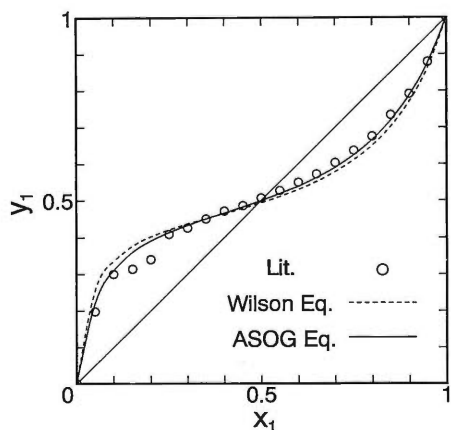


図2 1-ブタノール(1)-エチルベンゼン(2)系の $x-y$ 線図 (100 mmHg)

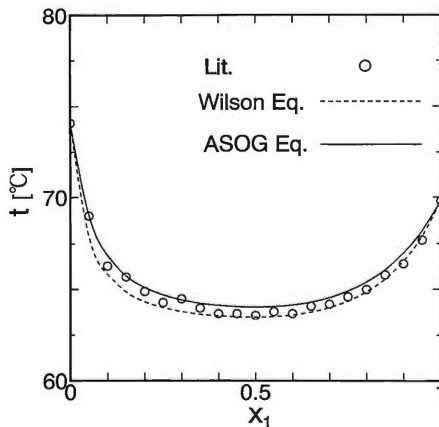


図4 1-ブタノール(1)-エチルベンゼン(2)系の $x-t$ 線図 (100 mmHg)

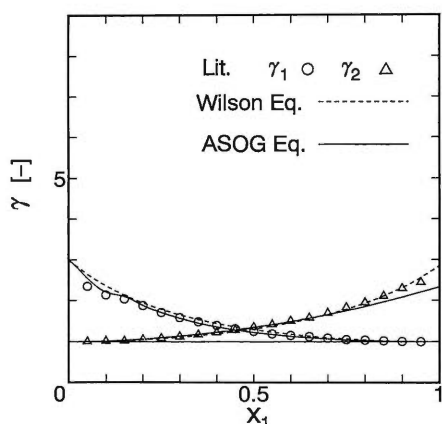


図 5 1—ブタノール (1)—エチルベンゼン (2) 系の活量係数 (760 mmHg)

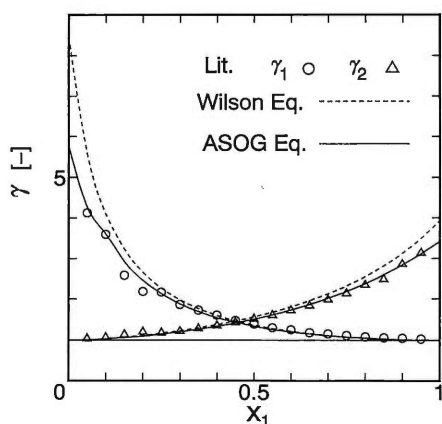


図 6 1—ブタノール (1)—エチルベンゼン (2) 系の活量係数 (100 mmHg)

6. 結 言

減圧下における気液平衡について Wilson 式と ASOG 式による相関を試みたところ、次のことが示された。

- (1) ヘプタントルエン系, 1—ブタノール—エチルベンゼン系, エタノール—水系について, Δy_1 は両式についてほとんど差がないが, Δt は Wilson 式の方が ASOG 式より小さくなった。
- (2) ジオキサン—水系については Δt は両式についてほとんど差が無いが, Δy_1 は ASOG 式の方が Wilson 式より大きくなった。
- (3) 一般的に同一系では, $\Delta \gamma$ が小さいほど Δy_1 , Δt が小さくなった。
- (4) 今後は, まだ決定されていない系のグループ対パラメータ, m_{kl} , n_{kl} および $\nu_{k,i}$, ν_i^{FH} を定め, 気液平衡値の正確な推算が望まれる。

使用記号

a_{kl}	= グループ Wilson パラメータ	[-]
m_{kl} , n_{kl}	= グループ対パラメータ	[-], [K]
P	= 全圧	[mmHg]
p_i^0	= 純成分 i の蒸気圧	[mmHg]
p_i	= 成分 i の分圧	[mmHg]
T	= 絶対温度	[K]
t	= 温度	[°C]
v_i	= 成分 i のモル体積	[cm ³ /mol]
Γ_k	= 溶液中のタイプ k のグループ活量係数	[-]

$\Gamma_k^{(i)}$ = 純成分 i 中のタイプ k のグループ [-]
ブ活量係数

γ_i = 成分 i の液相活量係数 [-]

Λ = Wilson 定数 [-]

λ_{ij} = i - j 成分間の相互作用エネルギー [J/mol]

$\nu_{i,FH}$ = 純成分 i 中の水素原子を除いた原子の数
添 字

1=成分 1

2=成分 2

i, k, l, m, n = 成分 i, k, l, m, n

参 考 文 献

- 1) 渡辺 徹・古屋 武・東 秀憲・東内秀機・荒井康彦：九州大学工学集報, 第67巻, 第5号, 593-599 (1994).
- 2) G. M. Wilson: J. Amer. Chem. Soc., **86**, 127 (1964).
- 3) 平田光穂, 大江修造, 長浜邦雄：“電子計算機による気液平衡データ” 講談社, 東京 (1975).
- 4) 大江修造：“気液平衡データ集” 講談社, 東京 (1989).
- 5) 荒井康彦, 宮本 明, 亀山秀雄, 山口 兆：“新体系化学工学 計算機化学工学” オーム社, 東京 (1982).
- 6) 小島和夫, 栃木勝巳：“ASOG および UNIFAC—BASIC による化学工学物性の推算—” 化学工業社, 東京 (1986).
- 7) K. Tochigi, D. Tiegs, J. Gmehling and K. Kojima: J. Chem. Eng. Japan, **23**, 453 (1990).

回転電極法による炭酸ガス還元機構解明の試み

石 丸 智 士

〈平成 7 年 9 月 27 日受理〉

Rotating Electrode Study on the Fixation Mechanism of Carbon Dioxide

For in-situ study for clarifying the mechanism of the pulsed carbon dioxide reduction at copper electrodes, rotating disk and ring-disk electrode methods were employed. These methods do not require a long term reduction such as an analysis by using gas-chromatograph and liquid-chromatograph techniques. It was found that some intermediate formed on the electrode surface in competition with hydrogen formation play important role of methane and ethylene production.

Satoshi ISHIMARU

1. はじめに

近年、地球の温暖化現象や化石エネルギーの枯渇が問題となっている。これらを緩和する手段の一つとして、また人工光合成実現へのステップとして、年々増加傾向にある二酸化炭素を還元することにより、メタンやアルコール類などの付加価値の高い炭素化合物を得ることは非常に有用である。これまで二酸化炭素を固定するための種々の方法について多くの検討がなされており¹⁾、なかでも、電気化学的還元法は用いる電極の種類や状態および電解液の種類により、二酸化炭素の還元生成物を選択的に得ることができるということが報告されており、注目を集めている。しかし、エネルギー効率や電極自体の腐食等の面から実用化に当たり解決すべき問題も多くある。

電極自体の腐食、すなわち二酸化炭素還元に対する活性劣化を抑制する方法として、パルス電解による還元が有効であることが報告されている。とくに、これまでメタンを選択的に還元生成することで知られている Cu にパルス電解を適用し、メタンおよびエチレンを選択的に効率良く、かつ安定に生成することができるという結果が得られている^{2,3)}。

通常、還元生成物の定性および定量解析はガスクロマトグラフやイオンクロマトグラフ等で行われているが、これらの機器を使った解析には長時間の還元が必要であり、電極表面の変化による影響を避けることができない。

そこで、*in-situ* に観測可能な回転電極法（回転リングディスク電極法、回転ディスク電極法）を用いて、Cu 電極にパルス電解を適用した場合の、二酸化炭素還元メカニズムに関する検討を行ったので報告する。

2. 実 験

回転リングディスク電極法は、ディスク状の電極とその外側に配したリング状の電極を回転させることにより生じる電解液の対流を利用する測定法で、反応生成種、中間生成種や反応機構に関する知見を得ることができる⁴⁾。

本研究では、ディスク電極に Cu（直径 6 mm）、リング電極に Pt（内径 7 mm、外径 9 mm）を用いた。対極には Pt、基準電極には SCE を用いた。セルは対極側の影響を避けるために 2 室構造とし、イオン交換膜（Nafion-417）で試料側と対極側を分離した。電解液は N₂ バブリングにより予め溶存酸素を除去した 0.1 M KHCO₃ 緩衝液を用い、二酸化炭素還元時には CO₂ バブリングを常時行い、CO₂ 飽和を保持した。

パルス電解は、効率良くメタンおよびエチレンを生

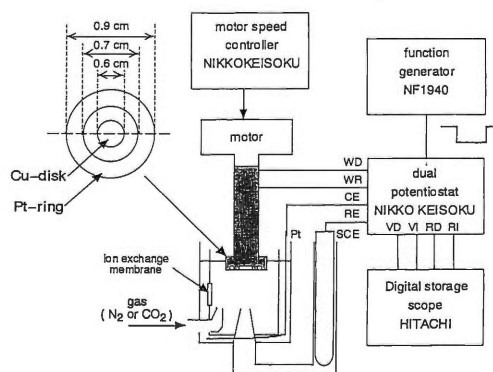


図1 回転電極および実験装置

成する条件（アノード電位 0 V (vs. SCE), カソード電位 -2.5 V (vs. SCE) をそれぞれ 5 秒間ずつ印加）で行った^{2,3)}。回転リングディスク電極法による測定は、(有) 日厚計測製の装置を使用して行い、コンピュータ制御したデジタルオシロスコープ（日立電子（株）製 VC-6524）によりディスクおよびリング電流を観測した。このときのリング電極の電位は 0.2 V (vs. SCE) とした。このリング電位はギ酸および水素を観測できる電位である⁵⁾。図 1 に測定系を示す。

なお、すべての実験は室温（25°C）で行った。

3. 実験結果および考察

図 2 に電極回転数 $\omega = 2000$ rpm, ディスク電極に $t = 0$ で -2.5 V (vs. SCE) のパルス印加したときのディスク電流およびリング電流を示す。図中 N_2 として示される波形は電解液中に CO_2 を導入していない、すなわち溶存酸素を除去するための N_2 バブリングのみ行った場合のものであり、 CO_2 の還元は起こっていない状況にある（以後の図中でも N_2 として示す）。一方、 CO_2 として示される波形は電解液中に CO_2 を飽和させた場合のものであり、 CO_2 の電解還元が起こっている状況にある（以後の図中でも同様に CO_2 として

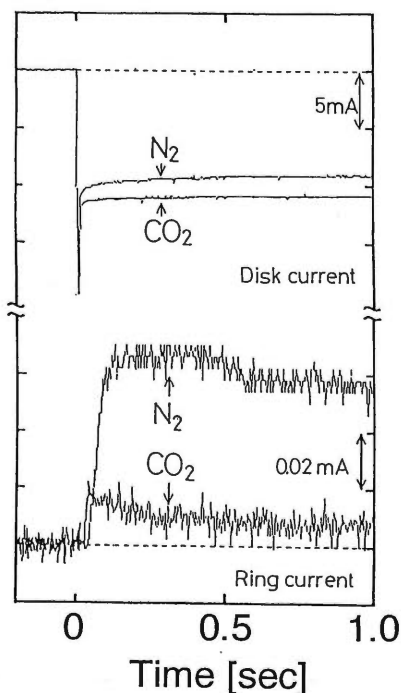


図2 ディスク電流およびリング電流（電極回転数：2000rpm）

示す）。図から明らかなように CO_2 還元により、ディスク電流は増加し、リング電流は減少することが認められた。

ディスク電流、リング電流ともにパルス印加後 1 sec 程度で定常に達した。図 3 にディスク電流定常値の電極回転数依存性を示す。 N_2 、 CO_2 どちらの場合もディスク電流は回転数によらずほぼ一定である。印加パルスが -2.5 V (vs. SCE) であることを考えると、電流に寄与している反応は、 N_2 の場合は水の還元、 CO_2 の場合は水の還元および CO_2 の還元であると思われる。通常、電解液中の水の還元において、反応種である水分子は常に電極表面に存在するため、電極から水分子への電荷移動が律速となり、電極回転数には依存しない。また、 CO_2 の還元において、電解液バルクからの CO_2 の供給が律速反応であれば、電流は電極回転数に依存するはずであるが、図から明らかなように定常においては CO_2 還元電流も電極回転数によらず、電荷移動律速が成立している。このことから、 CO_2 の還元反応は、電極表面上で、 CO_2 が関与して生じる吸着種を通じて起こっていると考えられることができる。

図 4 は収集効率の回転数依存性である。収集効率はディスク電流に対するリング電流の比で与えられ、ディスク電極での反応と逆の反応をリング電極で起こすことにより電極反応の知見を得ることができる。可逆反応系における収集効率の理論値は使用する電極の径により決定する。本研究で使用した電極の収集効率の理論値は 0.38 である⁴⁾。結果を見ると水の還元の場合も CO_2 の還元が起こっている場合もともに理論値を大きく下まわっている。理論値からの大きなずれは、ディスク電極での水の還元により発生する水素ガスが、リング電極で完全に捕捉できないためであると考えられ

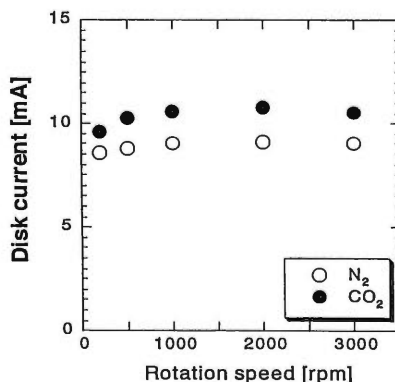


図3 定常におけるディスク電流の回転数依存性

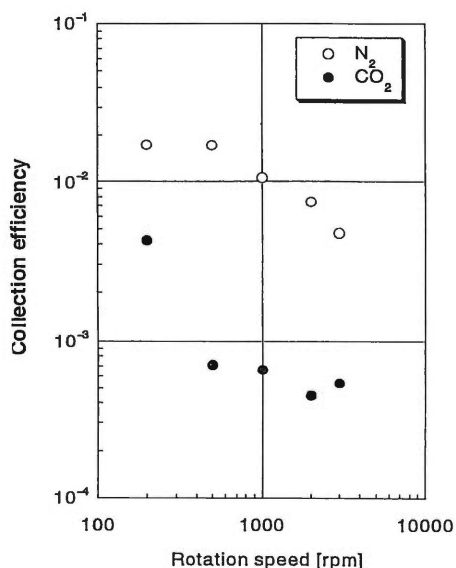


図4 収集効率の回転数依存性

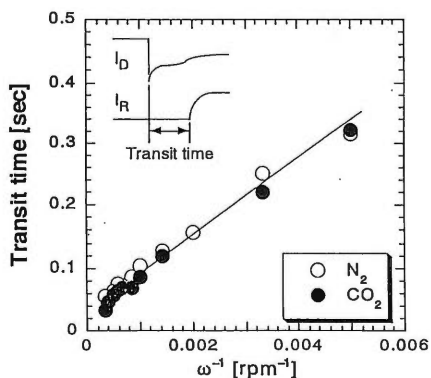


図5 Transit-time の回転数依存性

る。また、 CO_2 還元時には水の還元と CO_2 の還元が競合して起こっていると考えられ、 CO_2 還元時の収集効率が水の還元のみ起こっている場合に比べ、一桁程度小さくなっているのは、 CO_2 還元による生成物がリング電極で捕捉できないことに起因していると考えられる。銅電極に CO_2 のパルス電解を適用した結果、その還元生成物はメタンおよびエチレンであることがこれまで報告されている^{2,3)}。リング電流の減少は、常温でガスであるメタン、エチレンがリング電極で捕捉が不可能であることに起因すると予想される。

ディスク電極で生成された種がリング電極で捕捉されるまでの時間、すなわち transit-time の観測により、その種の拡散に関する情報を得ることができる。

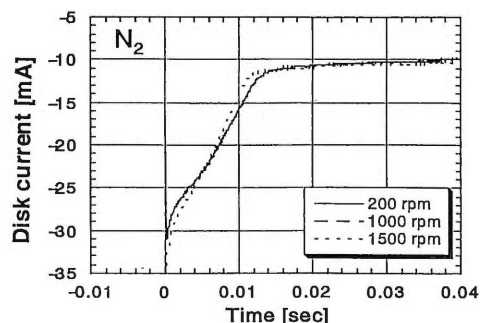
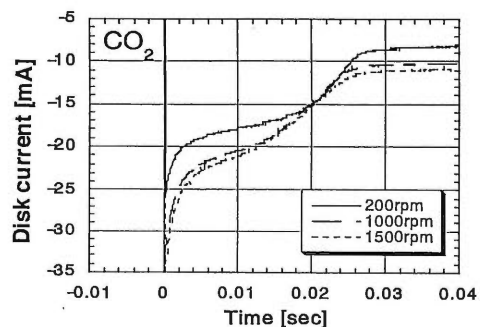
(a) ディスク過渡電流: N_2 (b) ディスク過渡電流: CO_2

図6 ディスク過渡電流

Bruckenstein-Feldman の式により transit-time (τ) と電極回転数 (ω) の関係は次のように与えられる⁶⁾。

$$\tau = 35.5(\nu/D)^{1/3}\omega^{-1} \quad (1)$$

ここで、 ν は溶液の粘度、 D は種の拡散係数である。図 5 に transit-time の回転数依存性を示す。 CO_2 還元の有無に関わらず、同様の依存性を示した。この結果、(1) 式よりリング捕捉種の拡散係数を算出すると、 $D = 0.81 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ となる。ただし、溶液の粘度は $0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ とした。この算出結果からも、リングで捕捉されている種は、唯一水素であることが妥当であると思われる。

さらに、ディスクの過渡電流に着目すると、図 6 に示すように、水の還元 (図 (a)) と CO_2 還元 (図 (b)) の場合とで顕著な違いがみられた。 CO_2 還元が起こっていない場合、ディスク過渡電流は図 (a) のように電極回転数に依存しない。このことは、パルス印加直後の過渡時においても、電荷移動過程が反応律速になっていることを示唆する。一方、 CO_2 還元が起こっている場合は図 (b) のように電極回転数の増加により過渡電流のプラトーな部分が増加しており、電極表面への物質移動が反応に寄与していることが示唆される。こ

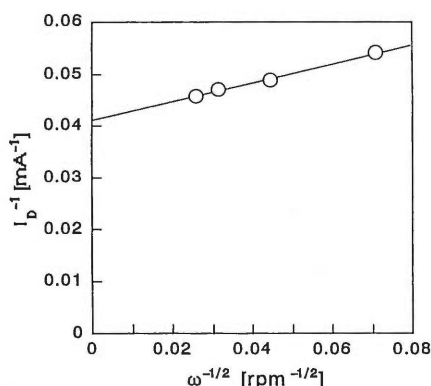


図7 過渡時 ($t = 0.01$ sec) におけるディスク電流-電極回転数

のプラトーな部分に関する Leivich プロットを図7に示す。ディスク電流 I_D は、電極回転数に依存しない電荷移動過程に起因する電流 I_k と、電極回転数に依存する物質移動過程に起因する電流 I_l によって次式のように表すことができる。

$$I_D^{-1} = I_k^{-1} + I_l^{-1} \quad (2)$$

また、 I_l は Levich の式より、

$$I_l^{-1} = A\omega^{-1/2} \quad (3)$$

となる。ここで、定数 A は、

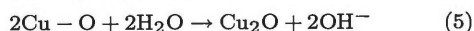
$$A = 12.5(nFSC)^{-1}\nu^{1/6}D^{-2/3} \quad (4)$$

で与えられる。 n は反応電子数、 F はファラデー定数、 S は電極面積、 C は反応種のバルク濃度、 ν は溶液粘度、 D は拡散係数である。図7において切片が零とならないことから、電荷移動が比較的遅い反応が起こっていることがわかる。また図6(a), (b)の比較から、物質移動過程に関する反応は溶液中の CO_2 拡散に起因していると思われる。以上のことから、過渡時には電極表面への CO_2 拡散の関与と、電極表面での電荷移動が反応を支配していることが示唆される。

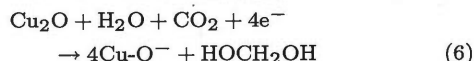
銅電極におけるパルス電解の有効性は、アノードバイアス時における電極表面の酸化に依るものであることがこれまで指摘されている。本実験はカソードバイアス印加後の電極反応について、回転電極を用いて調べた。過渡時には溶液中の CO_2 の関与が、定常時には電極表面での電荷移動が反応を支配していることが示唆された。これらの結果から、アノードバイアス時

の電極表面での酸化層形成、カソードバイアス印加直後の中間種の形成を仮定すると、次のような反応機構が考えられる。

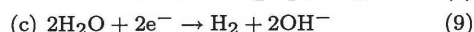
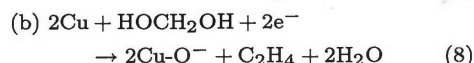
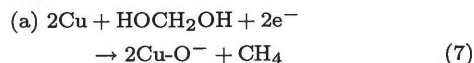
(1) アノードバイアス下



(2) カソードバイアス印加直後



(3) 定常



定常においては、これまでのガスクロマトグラフによる還元生成物の定性分析の結果から(7)~(9)式の反応が競合して起こると考えられる。

4. 結 論

銅電極を用いた CO_2 のパルス電解における反応機構の解明を、回転電極法により試みた。回転リングディスク電極法では還元生成物であるメタンやエチレンの直接検出はできなかったが、水素の検出により間接的にそれらの生成が示唆された。また、ディスク電流の解析により、 CO_2 還元機構に関する知見を得ることができた。

本研究にあたり、実験設備を使用させて頂き、また多くの議論に快く応じて下さった九州工業大学工学部電気工学科野上暁一教授と野上研究室の方々に、ここに謝意を記します。

参考文献

- 1) 例えば、井上祥平ほか、現代化学増刊25二酸化炭素、東京化学同人 など
- 2) R. Shiratsuchi, Y. Aiko and G. Nogami, *J. Electrochem. Soc.*, **140**, 3479 (1993).
- 3) G. Nogami, H. Itagaki and R. Shiratsuchi, *J. Electrochem. Soc.*, **141**, 1138 (1994).
- 4) A. J. Bard, L. R. Faulkner, "Electrochemical Methods - fundamentals and applications -," J. W. & S., New York (1980).
- 5) A. Aoki and G. Nogami, *J. Electrochem. Soc.*,
- 6) S. Bruckenstein and G. A. Feldman, *J. Electroanal. Chem.*, **9**, 395 (1965).

鉄筋コンクリート造長柱材のせん断抵抗機構に関する一考察

玉 野 實
〈平成 7 年 10 月 2 日受理〉

A Study on The Mechanisms of Shear Resistance of Reinforced Concrete Columns

The research reported herein is a study on the mechanisms of shear resistance of reinforced concrete columns. Intensive studies on the reinforced concrete members have been conducted over the years by various investigators. The majority of these studies, however, have not been directed towards studying the unified mechanism of the shear resistance but rather studying only the fundamental ultimate strength properties of reinforced concrete members. The shear behavior of a reinforced concrete members is very complex. In this study, Z-typed failure model and incline typed failure model have been proposed to study the mechanisms of shear resistance. Bending shear cracking strength, shear cracking strength and ultimate shear strength of reinforced concrete columns have been obtained. The results are discussed on the experimental results by Hirose, Ikeda and Tamano.

Minori TAMANO

1. はじめに

さきの阪神・淡路大震災では、人的、物的に未曾有の被害が発生した。鉄筋コンクリート造（以下に、RC 造と略記する）建物のうちの多くが 1 階又は中間階で破壊する大きな被害となった。その RC 造建物の崩壊の主因は、現在調査が進められているので結論的には言えないが、柱、壁のせん断破壊に起因すると考えても過言ではない。せん断力による破壊は、今回のみならず過去の大地震においても柱の致命的な破壊となり、建物に大きな被害をもたらしてきた^{1), 2), 3)}。この破壊は、周知のようにもろい破壊形式であり、建物の崩壊をもたらす極めて重要な課題であるが、その破壊機構は未だに明らかとなっていない⁴⁾。現在のところ、理論的なものとしては、塑性理論による提案式⁵⁾が唯一のものと考えられる。従って、もろい破壊を防止するための効果的、かつ経済的な補強法も明らかとなっていない。

本研究は、腰壁や垂れ壁のない一般に最も多く用いられている柱材、いわゆる長柱（シャースパン比が 2 以上のもの）を対象として曲げせん断ひび割れ形状の Z 型破壊機構モデルとせん断ひび割れ形状の斜面型破壊機構モデルを提案し、これら破壊機構モデルに基づいてひび割れ強度から終局強度に至る過程について解明を試みたものである。このせん断問題については、

未だに不明な点が多く、体系的な破壊理論が確立されていない現状から、この研究がせん断抵抗機構解明への足がかりとなり、ひいてはせん断破壊を生じさせない補強法の開発につなげることを目指して行っているものである。本報告では、実験で見られるひび割れから破壊までのきわめて初歩的段階の諸強度についての考察の結果とせん断抵抗機構に関する考察について以下に報告する。

2. RC 部材のせん断抵抗機構の概要

2.1 せん断破壊過程の概要

曲げとせん断を同時に受ける RC 部材の破壊は、以下の過程に従って生ずるものとする。1) 最初に、柱脚に曲げひび割れが発生し、荷重の増加に伴ってそのひび割れは柱脚から高さ x_b の位置にも発生する。2) その曲げひび割れの先端から柱脚に向かう 45 度方向に斜めひび割れが発生し、いわゆる曲げせん断ひび割れとなる。3) この状態で主筋量が少ない場合では、引張主筋の降伏によって曲げせん断破壊が発生する。4) 主筋量が多い場合では、柱の下部に向かって斜めひび割れが進展するとともに、曲げせん断ひび割れ発生点の上部に斜めひび割れが発生してせん断ひび割れとなる。5) その後は、せん断補強筋量が比較的に少ない場合では圧縮域のコンクリートが斜めずれ破壊を起こして破壊する。従来、この破壊をいわゆるせん断引張破壊

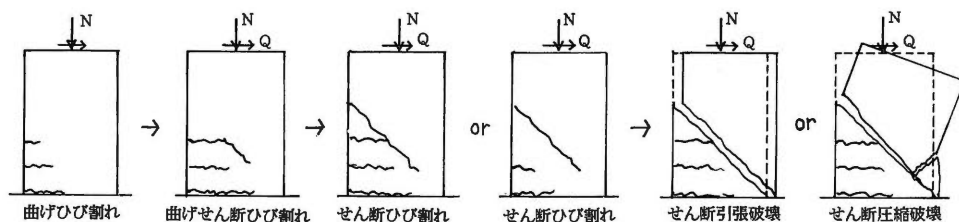


図-1 曲げひび割れの発生からせん断破壊までの過程

(shear tension failure ; STF モード) と呼んでいる。
6) それに対してせん断補強筋量が多い場合では、圧縮域のコンクリートが圧潰するせん断圧縮破壊 (shear compression failure ; SCF モード) が生ずる。このようなせん断力によるひび割れの発生から破壊に至る過程をまとめて図-1 に示す。

2.2 せん断破壊抵抗機構解析の概要

RC 部材のせん断破壊機構の解析は、前述の破壊過程に従って進めることとする。まずひび割れ時の挙動に関しては、曲げせん断ひび割れ解析を行なった後にせん断ひび割れ解析を行う。せん断終局時の挙動に関しては、引張鉄筋比が小さい場合におこる曲げせん断破壊について解析を行い、つづいてはせん断引張破壊、せん断圧縮破壊について解析して、それぞれの破壊モードについてその発生メカニズムを明らかにする。その際、それぞれの機構に応じて実験結果に基づいた独自の仮定を設ける。

2.3 機構解析のための基本方針

一般の構造物では、せん断力のみが単独で作用することはなく、常に曲げモーメントが介在する。従って、解析に際しては、曲げモーメントとせん断力が混在するものとして取扱う。ただし、それぞれに関してもうけられてきた基本仮定については侵さないものとする。

- 1) 曲げ材の解析に関しては、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(以下に、学会規準と言う) による基本仮定に準拠する。従って、平面保持の仮定が成立し、使用材料のコンクリート及び鉄筋ともに弾性体とする。コンクリートの引張強度は、曲げ又はせん断ひび割れ発生後では零として無視する。
- 2) せん断を受ける材の解析に関しては、それぞれの場合について別々に仮定を設けているが、曲げ材に関する仮定を乱さないものとする。
- 3) 終局状態における使用材料の応力とひずみの関係は、別に仮定する。

2.4 使用記号

本考察で使用する記号は、せん断機構解析で特記する記号を除き、学会規準に準拠する。なお、添え字については、左添え字は位置または領域、右添え字は材料、応力、状態を表わすものとする。その記号をまとめて本報告の末尾に付記する。

3. 曲げせん断ひび割れ強度

3.1 基本仮定

1) 曲げひび割れ発生直前の応力分布は図-2 に示すように弾性応力状態と仮定する。2) 図中に示す曲げせん断ひび割れとなる曲げひび割れは、コンクリートの引張応力度が $1.8\sqrt{f_c}$ に達して発生するものと仮定する。A 点に発生したその曲げひび割れが柱脚から45度線上の B 点に達した後に、BC 点間のコンクリートが斜張力によって引張限界ひずみに達して斜めひび割れが発生し、曲げせん断ひび割れとなる。引張限界ひずみ ϵ_{cr} は、曲げひび割れ発生時の曲げ応力度に基づく

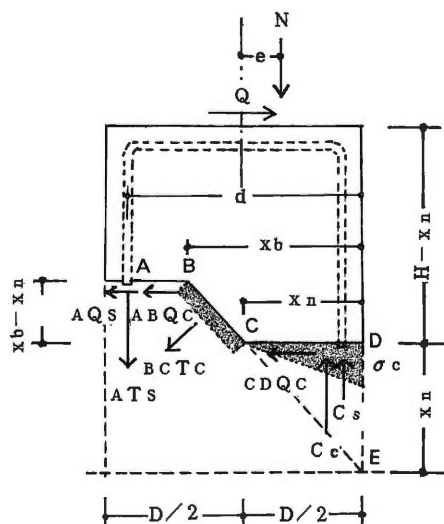


図-2 曲げせん断ひび割れ時 (Z 型破壊機構モデル) 応力分布

下記の値とする。

$$\varepsilon_{cr} = 1.8\sqrt{F_c/E_c}, E_c = 1.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

3) その時のせん断ひずみは、幾何学的な関係から $\gamma_{bsc} = 2\varepsilon_{cr}$ とする。4) 曲げひび割れ面の AB 面に生ずる interface shear (以下に、かみ合いせん断力と言う) は、この状態におけるひび割れ幅を 0.2mm 程度とし、その剛性とひび割れ幅との関係を実験結果より定める。5) ひび割れ面に直交した主筋の dowel action (以下に、ダボ作用と言う) によるせん断応力は、ひび割れ幅が約 1 mm 以下の微小幅では直接せん断作用と変わらないので $G_s \cdot \gamma$ とする⁶⁾。6) 圧縮域の主筋のせん断応力は、その位置が縁に近いことから特別には考慮しない。

3.2 曲げひび割れ強度及び曲げせん断ひび割れ高さ比

曲げひび割れ発生時の曲げ最大応力度及び最小応力度 (以下に、圧縮を正とする) は、下式による。

$$\sigma_{\max} = M_{bc}/Z_e + N/bD \quad (3.1)$$

$$\sigma_{\min} = -1.8\sqrt{F_c} \quad (3.2)$$

ここで、 Z_e は鉄筋を考慮した断面係数とする。

曲げせん断ひび割れが発生する柱脚からの高さ x_b の柱せい D の比を x_{b1} とすると、その比は次式から求められる。

$$x_{b1} = \sigma_{\max}/(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \quad (3.3)$$

3.3 曲げせん断ひび割れ強度

軸方向力のつりあいから、

$$C_C + C_S - BC T_C/\sqrt{2} - T_S = N \quad (3.4)$$

ここで、

$$C_C = b \cdot \sigma_c \cdot x_n/2 \quad (3.5)$$

$$C_S = n \cdot s a_c \cdot \sigma_c (x_n - d_c)/x_n \quad (3.6)$$

$$A T_S = n \cdot s a_t \cdot \sigma_c (d - x_n) \cdot (H - x_b) / x_n / (H - x_n) \quad (3.7)$$

$$BC T_C = 1.8\sqrt{F_c} \cdot \sqrt{2} b (x_b - x_n) \quad (3.8)$$

(3.4) 式に各値を代入して整理すると、

$$\begin{aligned} & N/bD + 1.8\sqrt{F_c}(x_{b1} - x_{n1}) - 0.5 \cdot \sigma_c \cdot x_{n1} \\ & - n \cdot p_c \times \sigma_c (x_{n1} - d_{c1})/x_{n1} + n \cdot p_t \times \\ & \sigma_c (d_1 - x_{n1}) \cdot (H/D - x_{b1})/x_{n1} \\ & / (H/D - x_{n1}) = 0 \end{aligned} \quad (3.9)$$

中立軸位置の C 点に関するモーメントのつり合いから、下式が成立する。

$$\begin{aligned} N(x_n - D/2 + e) &= 2C_C \times x_n/3 + C_S \\ &\times (x_n - d_c) + A T_S (d - x_n) + (x_b - x_n) \times \\ &(AB Q_C + A Q_S) + \sqrt{2} BC T_C \times (x_b - x_n)/2 \end{aligned} \quad (3.10)$$

ここで、式中の各項は以下に示す各式で表わされる。曲げひび割れ面のかみ合いせん断力は、

$$AB Q_C = b(D - x_b) \tau_y = \beta_c \cdot G_c \cdot \gamma_{bsc} (1 - x_{b1}) bD \quad (3.11)$$

かみ合いせん断力に関して、ひび割れ幅を 0.2mm で行った実験⁶⁾より剛性低下係数 β_c は 0.025 とする。

従って、(3.11) 式を整理して表わすと、

$$\begin{aligned} AB Q_C &= 3.6\beta_c \cdot G_c \cdot \sqrt{F_c}/E_c \\ &\times (1 - x_{b1}) bD \\ &= 0.0387\sqrt{F_c}(1 - x_{b1}) bD \end{aligned} \quad (3.12)$$

次に、主筋のダボせん断力については、ひび割れ幅が約 1 mm 程度までは剛性低下がないものとして下式によって表わせるものと仮定する。

$$\begin{aligned} A Q_S &= p_t \cdot bD \cdot G_s \cdot \gamma_{bsc} \\ &= p_t \cdot bD (0.386 E_s) \times \\ &3.6\sqrt{F_c}/E_c \\ &= 1.39 \cdot n \cdot p_t \cdot \sqrt{F_c} \cdot bD \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} e_1 = e/D &= M/ND = Q(H - x_n)/ND \\ &= (H/D - x_{n1})Q/N \end{aligned} \quad (3.14)$$

(3.10) 式に各値を代入して整理すると下式となる。

$$\begin{aligned} & \{N(x_{n1} - 0.5) + Q(H/D - x_{n1})\}/bD \\ &= \sigma_c \cdot x_{n1}^2/3 + n \cdot p_c \cdot \sigma_c \times (x_{n1} - \\ & d_{c1})^2/x_{n1} + n \cdot p_t \cdot \sigma_c (d_1 - x_{n1})^2 \\ & \times (H/D - x_{b1})/x_{n1}/(H/D - x_{n1}) + \\ & 0.0387\sqrt{F_c}(1 - x_{b1}) + 1.39n \times p_t \\ & \times \sqrt{F_c}(x_{b1} - x_{n1}) + 1.8\sqrt{F_c} \times (x_{b1} - x_{n1})^2 \end{aligned} \quad (3.15)$$

横断面 (ABCD 面) の力のつり合いを求めると、次式が成立する。

$$Q_{bsc} = CD Q_C + AB Q_C + A Q_S + BC T_C/\sqrt{2} \quad (3.16)$$

ここで、

$$\begin{aligned} CDQ_C &= \int_0^{x_n} b \times \tau_y \times dy \\ &= (Q/In) \int_0^{x_n} S_y \times dy \\ &= Q(x_n/3j) \end{aligned} \quad (3.17)$$

ここで、(3.16) 式に (3.8), (3.12), (3.13), (3.17), の各式を代入して bj でまとめると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} Q_{bsc} &= \{1.27/(1 - x_{n1}/3j_1)\} \times \\ &\quad \{0.0387\sqrt{F_c} + 1.8\sqrt{F_c}(x_{b1} - \\ &\quad x_{n1}) + 1.39 \cdot n \cdot p_t \sqrt{F_c}\}bj \end{aligned} \quad (3.18)$$

ここで、 $j_1 \approx 0.875d_1$ とし (3.9), (3.15), (3.18) の各式を連立して解き x_{n1} , σ_c , Q_{bsc} を決定する。

4. せん断ひび割れ強度

4.1 基本仮定

1) 曲げせん断ひび割れ発生後には、その先端の C 点 (荷重の増加につれて斜め45度方向の柱脚に向かって移動する) が中立軸位置であって、その点を中心として ABC 面では曲げによる回転変形とせん断によるずれ変形が生ずる。但し、BC 面は主応力面であることからずれ変形は生じないと仮定する。2) 曲げひび割れ面のせん断力と A 点の引張力と E 点の引張力の差との合力によって、BF 面のコンクリートが斜め方向に引っ張られて斜めひび割れが発生する。3) BC 面の

変形は、その変形量に比例するものと仮定する。この時の応力状態を図-3 に示す。

4.2 曲げせん断ひび割れ発生後に生ずるせん断ひび割れ強度

軸方向力のつり合いから、次式が得られる。

$$C_c + C_s - F T_S - B F T_C / \sqrt{2} = N \quad (4.1)$$

ここで、式中の各値は下式で表わされる。

$$C_c = b \cdot \sigma_c \cdot x_n / 2 \quad (4.2)$$

$$C_s = n \cdot s a_c \cdot \sigma_c (x_n - d_c) / x_n \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} F T_S &= n \cdot s a_t \cdot \sigma_c (d - x_n) \cdot (H - d) \\ &\quad / x_n / (H - x_n) \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$B F T_C = 1.8 \sqrt{F_c} \cdot \sqrt{2} b \cdot (D - x_b) \quad (4.5)$$

(4.1) 式に各値を代入して整理すると、

$$\begin{aligned} N/bD - \sigma_c \cdot x_{n1}/2 - n \cdot p_c \cdot \sigma_c (x_{n1} - \\ d_{c1})/x_{n1} + n \cdot p_t \cdot \sigma_c (d_1 - x_{n1}) \times \\ (H/D - d_1)/x_{n1} / (H/D - x_{n1}) + 1.8 \times \\ \sqrt{F_c} (1 - x_{b1}) = 0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

中立軸の C 点に関するモーメントのつり合いから下式が成立する。

$$\begin{aligned} N(x_n - D/2 + e) &= 2C_c \cdot x_n/3 + \\ C_s(x_n - d_c) &+ F T_S(d - x_n) + B F T_C \times \\ &\quad \sqrt{2}\{x_n + (D - x_b)/2\} + T_{ws}(x_b - x_n)/2 \end{aligned} \quad (4.7)$$

せん断補強筋の引張応力度は、BC 面のひび割れ幅の広がりにもなって増大する。そのひび割れ幅はせん断ひずみによるものと曲げによる回転にもなうひずみの水平成分が混在するが、ここではせん断ひずみによるひび割れ幅の増大のみを考慮することにする。

$$B \delta_{ws} = \gamma_{scr} (x_b - x_n)$$

$$\gamma_{scr} = 2\gamma_{bsc}$$

せん断補強筋は一樣に伸長するものと仮定すると、

$$B \varepsilon_{wt} = B \delta_{ws} / (d - d_c) \quad (4.8)$$

となる。従って、B 点のせん断補強筋の応力度は次式の大きさとなる。

$$\begin{aligned} B \sigma_{ws} &= E_s \cdot B \varepsilon_{wt} \\ &= E_s \cdot 2\gamma_{bsc} (x_b - x_n) / (d - d_c) \\ &= 7.2n \sqrt{F_c} (x_{b1} - x_{n1}) / \\ &\quad (d_1 - d_{c1}), \text{ かつ } \leq \sigma_{wy} \end{aligned} \quad (4.9)$$

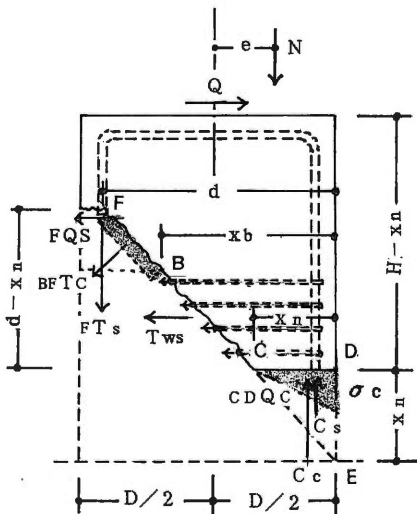


図-3 せん断ひび割れ発生時 (斜面型破壊機構モデル) 応力分布

$$F_c(d_1 - x_{n1}) \times (H/D - d_1)/x_{n1}/(H/D - x_{n1}) + 1.8\sqrt{F_c}(1 - x_{n1}) = 0 \quad (4.19)$$

中立軸まわりのモーメントのつり合いは、(4.11) 式中の一部の項を入れ替えた下式によって表わされる。

$$\begin{aligned} & \{N(x_{n1} - 0.5) + Q(H/D - x_{n1})\}/bD \\ &= 5F_c \cdot x_{n1}^2/8 + p_c \cdot \sigma_y(x_{n1} - d_{c1}) \\ &+ n \cdot p_t \cdot F_c(d_1 - x_{n1})^2 \times (H/D - d_1) \\ &/x_{n1}/(H/D - x_{n1}) + 1.8\sqrt{F_c}(1 - x_{n1})^2 \end{aligned} \quad (4.20)$$

次に、横断面の力のつり合いから次式が成立する。

$$\begin{aligned} Q_{scr,3} = & \{1.27/(1 - x_{n1}/3j_1)\} \times \\ & \{1.39 n \cdot p_t \cdot \sqrt{F_c} + 1.8\sqrt{F_c}(d_1 - x_{n1})\}bj \end{aligned} \quad (4.21)$$

以上の結果より(4.19)式、(4.20)式、(4.21)式を解き、 x_{n1} 、 σ_c 、 $Q_{scr,3}$ を求める。

5. せん断終局強度

5.1 基本仮定

終局強度の解析に際しては、1) 終局時を対象にして使用材料の応力度とひずみの関係は2直線で表わされるものと仮定する。2) 終局時のコンクリートの応力分布は矩形とし、そのときの係数 $k_1 \equiv k_3 \equiv 0.85$ 、 $k_2 \equiv k_1/2$ と仮定する。3) コンクリートの終局ひずみ

は、無拘束の場合では0.3%、拘束効果が顕著な場合 ($p_w \geq 0.3\%$) では1.05%とする。4) 鉄筋の終局時せん断強度は材料強度の $1/\sqrt{3}$ とする。

5.2 曲げせん断破壊時終局強度

この破壊時では、A 点の引張主筋、BC 面のせん断補強筋がともに降伏し、圧縮側のコンクリート、鉄筋はともに塑性応力状態にあり、その応力分布状態を図-5に示す。なお、コンクリートの応力は $x_n/2$ から x_n まで F_c とした台形分布と仮定する。軸方向力のつり合いから次式が成立する。 $a_c = a_t$ 。

$$\begin{aligned} & 3F_c \cdot x_{n1}/4 + p_c \cdot \sigma_y - p_t \cdot E_s \cdot \varepsilon_u \times \\ & (d_1 - x_{n1}) \cdot (H/D - x_{n1})/x_{n1}/(H/D - x_{n1}) = N/bD \end{aligned} \quad (5.1)$$

ここで、A 点の主筋の応力は、そのひずみ ε_t が降伏ひずみ ε_y 未満では弾性、それ以上では塑性となり、その限界の中立軸比と鉄筋の降伏ひずみに対するコンクリートの終局圧縮ひずみの比 $u = \varepsilon_u/\varepsilon_y$ の関係は次式となる。

$$\begin{aligned} x_{n1} = & \{(1+u)H/D - u \cdot x_{b1}\}/2 - \\ & [\{(1+u)H/D - u \cdot x_{b1}\}^2 - 4d_1 \times \\ & u(H/D - x_{b1})]^{0.5}/2 \end{aligned} \quad (5.2)$$

ここで、シャースパン比が2.5、 $d_1 = 0.85$ の引張側主筋の応力は、せん断補強筋による拘束効果が小さい $u = 2$ の場合では $x_{n1} \geq 0.55$ 、拘束が大きい $u = 7$ では $x_{n1} \geq 0.746$ となるとときに弾性状態となる。従って特別な場合を除き引張側主筋は降伏状態にあるものとする。また、コンクリートの塑性化が進んだ場合では基本仮定2) による矩形分布として(5.1)式の第1項を $k_3 \cdot F_c \cdot k_1 \cdot x_{n1}$ と置く。更に、 $a_t = a_c$ 、 $k_1 = k_3 \equiv 0.85$ を代入して整理すると、下式となる。

$$x_{n1} = (N/bD)/0.723F_c \quad (5.3)$$

横断面力のつりあいから次式が成立する。

$$Q_{BSU} = CDQC + ABQC + AQSP \quad (5.4)$$

ここで、引張側主筋のダボせん断力は、せん断補強筋の引張降伏によるひび割れ面の局部曲げ降伏によって生じ、その大きさは d_s を主筋径、曲げスパンを dL として次式で表わされるものとする。

$$AQSP = (4d_s/3\pi) \times (p_t \cdot bD \times \sigma_y/dL) \quad (5.5)$$

実験結果によると dL は、鉄筋径の約3倍である。

かみあいせん断力に関する実験では0.2mm以上のひび割れ幅になると剛性低下が著しい。従って、この

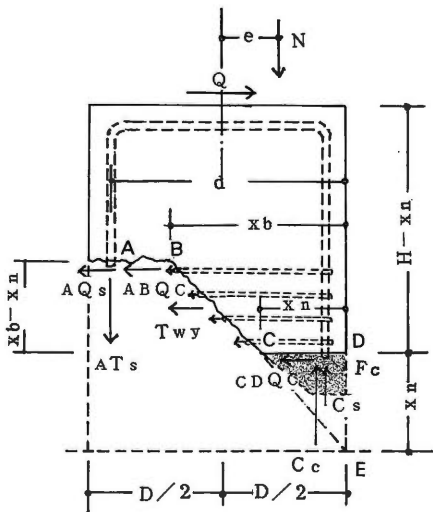


図-5 曲げせん断破壊時 (Z 型破壊機構モデル) 応力分布

状態での AB 面かみ合いせん断力については、極めて小さいので無視することにする。

斜めひび割れが生じている BC 面については斜め方向の斜張力に対してせん断補強筋が抵抗し、引張降伏状態にあるものと仮定し、下式によるものとする。

$$T_{wy} = p_w \cdot b \cdot \sigma_{wy} (x_b - x_n) \quad (5.6)$$

次に、圧縮域のコンクリートは、軸方向応力とせん断応力、更にせん断補強筋による拘束力の 3 軸応力状態にあるものとする。十分に補強した場合、ここではせん断補強筋比が 0.3% 以上とし、そのときのせん断補強筋による拘束力 σ_n は下式によると仮定する。

$$\begin{aligned} \sigma_n &= p_w \cdot b \cdot x \cdot \sigma_{wy} / (d - d_c) / x \\ &\approx 1.25 p_w \cdot \sigma_{wy} \end{aligned} \quad (5.7)$$

この応力状態におけるコンクリートの破壊は Mohr-Coulomb の降伏条件に基づき、

$$\tau_u = F_c / 6 + (F_c - F_t) \times \sigma_n / \sqrt{F_c} \sqrt{F_t} \quad (5.8)$$

ここで、 $F_t \approx F_c / 10$ において整理すると、下式で表わされる。

$$\tau_u = 0.167 F_c + 2.49 \sigma_n \quad (5.9)$$

コンクリートが塑性状態のときの CD 面のせん断応力分布は不明である。ここでは弾性状態におけるせん断応力分布とほぼ相似した台形分布と仮定し、中立軸か

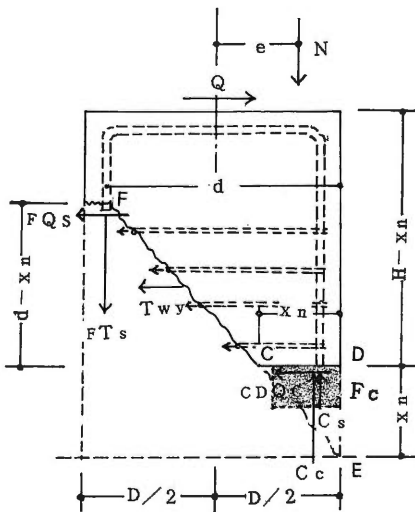


図-6 セン断破壊時（斜面型破壊機構モデル）応力分布

ら $x_n/2$ までは τ_u 、そして x_n では零とした台形分布と仮定する。CD 面のせん断力は次式で示される。

$$CD Q_C = 3b \cdot \tau_u \cdot x_n / 4 \quad (5.10)$$

以上の結果を (5.4) 式に代入して整理すると、次式が成立する。拘束が十分な場合 ($p_w \geq 0.3\%$) では、

$$\begin{aligned} Q_{BSU,1} &= \{0.75 x_{n1} (0.167 F_c \\ &\quad + 3.56 p_w \cdot \sigma_{wy}) + 4 d_s \cdot p_t \cdot \sigma_y / \\ &\quad 9\pi + p_w \cdot \sigma_{wy} (x_{b1} - x_{n1})\} b D \end{aligned} \quad (5.11a)$$

拘束が十分でない場合では、

$$\begin{aligned} Q_{BSU,2} &= \{0.125 x_{n1} \cdot F_c + 4 d_s \cdot p_t \times \\ &\quad \sigma_y / 9\pi + p_w \cdot \sigma_{wy} (x_{b1} - x_{n1})\} b D \end{aligned} \quad (5.11b)$$

なお、 $Q_{BSU} \geq Q_{scr}$ のときは曲げせん断破壊は生じない。

5.3 セン断引張破壊時終局強度

この破壊時では、主筋量が多いために引張主筋の降伏以前にせん断補強筋が降伏してせん断引張破壊が発生するものと仮定する。この破壊時における応力状態を図-6 に示す。圧縮域のコンクリートの応力状態は、曲げせん断破壊時の場合と同様に塑性応力状態にあるものと仮定する。

軸方向力のつりあいから次式が成立する。

$$C_C + C_S - F T_S = N \quad (5.12)$$

$$\text{ここで、} C_C = k_3 \cdot F_c \cdot k_1 \cdot x_n \cdot b \quad (5.13)$$

$$C_S = s a_c \cdot \sigma_y \quad (5.14)$$

A 点の引張合力は、柱脚部からの距離に比例して減ずるものとして、

$$\begin{aligned} F T_S &= s a_t \cdot E_S \{ \varepsilon_u (d - x_n) \times \\ &\quad (H - d) / (H - x_n) / x_n \} \end{aligned} \quad (5.15)$$

とする。ただし、中括弧の主筋のひずみ $\{\varepsilon_t\}$ が降伏ひずみ ε_y に達したときの引張主筋の応力は、降伏強度 σ_y とする。一般に、曲げせん断破壊のときと同様に、主筋の応力は引張側、圧縮側ともに降伏状態にあるものとする。

以上の各値を (5.13) 式に代入して整理すると、次式に示す結果となる。

$$\begin{aligned} k_3 \cdot F_c \cdot k_1 \cdot b \cdot x_n + p_c \cdot b D \cdot \sigma_y - \\ p_t \cdot b D \cdot \sigma_y = N \end{aligned} \quad (5.16)$$

一般に、 $p_c = p_t$ 、 $k_3 \approx k_1 \approx 0.85$ 、を (5.16) 式に代入して中立軸位置算定式を求めると、前述の (5.3) 式となる。

次に、横断面力のつりあいから、せん断引張破壊時のせん断力を求めると次式が得られる。

$$Q_{STU} = CDQ_C + FQ_S + T_{wy} \quad (5.17)$$

CD面の終局時のせん断応力は、(5.10)式で示す応力状態にあるがせん断引張破壊では右辺の第2項による拘束効果が小さいものと仮定する。従って、そのせん断力の大きさは下式によって表わされる。

$$CDQ_C = 0.125b \cdot x_n \cdot F_c \quad (5.18)$$

F点の主筋のダボ作用によるせん断力は(5.5)式による他に、コンクリート強度によってはF点から上部で主筋に沿ったひび割れが発生する。その場合のダボせん断力 FQ_{ST} は、引き裂かれる部分のコンクリートの範囲を約0.65Dとし、 $F_t \equiv F_c/10$ とした下式による大きさとする。

$$\begin{aligned} FQ_{ST} &= (b - n_m \cdot d_s) \cdot F_t \cdot (0.65D) \\ &= 0.065(b - n_m \cdot d_s) F_c \cdot D \end{aligned} \quad (5.19)$$

ここで、 n_m ；主筋本数、 d_s ；主筋の平均径とする。

せん断補強筋はすべて降伏状態にあり、次式で表わされるものとする。

$$\begin{aligned} T_{wy} &= a_w \cdot \sigma_{wy}(d - x_n)/x \\ &= b \cdot p_w \cdot \sigma_{wy}(d - x_n) \end{aligned} \quad (5.20)$$

(5.17)式に各値を代入して整理すると、

$$\begin{aligned} Q_{STU} &= \{0.125x_{n1} \cdot F_c + 0.065 \times \\ &\quad (1 - n_m \cdot d_s/b)F_c + p_w \cdot \sigma_{wy} \times \\ &\quad (d_1 - x_{n1})\} \times bD \end{aligned} \quad (5.21)$$

以上の結果から(5.3)式よりまず x_{n1} を求め、次に(5.21)式より Q_{STU} が得られる。

そのときの終局曲げモーメントは次式で表わされる。

$$\begin{aligned} M_u &= k_3 \cdot F_c \cdot k_1 \cdot x_n \cdot b(D/2 - k_1 \times \\ &\quad x_n/2) + s a_c \cdot \sigma_y(D/2 - d_c) + \\ &\quad s a_t \cdot \sigma_y(D/2 - d_t) \end{aligned} \quad (5.22)$$

5.4 せん断圧縮破壊時終局強度

この破壊は、せん断引張破壊の状態にあってせん断補強筋が比較的に多い場合に、圧縮域のコンクリートのひずみが終局ひずみ ε_u に達して起こると仮定する。

軸方向力のつりあいから、せん断引張破壊時と同様に(5.13)～(5.21)式が成立し、その結果中立軸位置は(5.3)式で求められる。

せん断引張破壊の場合と同様に、横断面力のつり合いから(5.17)式が成立する。ただし、CD面のせん断力はせん断補強筋の拘束を考慮した(5.10)式によるものとする。また、この破壊時にはF点から上部の主筋のダボ作用によるコンクリートの引き裂きは見られない。従って、この破壊時のダボ作用による主筋のせん断力は(5.5)式の値を採用する。

以上の結果、せん断圧縮破壊時のせん断力は、せん断補強筋により柱脚部(柱脚から約D/4の範囲)が十分に拘束された場合($p_w \geq 0.3\%$)では、

$$\begin{aligned} Q_{SCU,1} &= [0.125x_{n1} \cdot F_c + 4d_s \cdot p_t \times \\ &\quad \sigma_y/9\pi + p_w \cdot \sigma_{wy} \{2.33x_{n1} + \\ &\quad (d_1 - x_{n1})\}] bD \end{aligned} \quad (5.23a)$$

せん断補強筋による拘束が十分とはいえない場合では、

$$\begin{aligned} Q_{SCU,2} &= [0.125x_{n1} \cdot F_c + 4d_s \cdot p_t \times \\ &\quad \sigma_y/9\pi + p_w \cdot \sigma_{wy}(d_1 - x_{n1})] bD \end{aligned} \quad (5.23b)$$

以上の結果より、(5.3)式を解き x_{n1} を求め、次に(5.23a)、(5.23b)式より Q_{SCU} を決定する。

6. 既往の実験結果に対する検討

6.1 曲げせん断ひび割れ、せん断ひび割れ及びせん断引張破壊に対する検討

試験体記号番号 84-C1-2試験体

実験者；広沢雅也⁷⁾

1) 試験体形状； $b \times D = 20 \times 20\text{cm}^2$, $H/D = 2.5$,

$d = 17\text{cm}$, $dc = dt = 3\text{cm}$

2) 配筋； $p_t = 1.94\%$ (2-D22),

$p_w = 0.28\%$ (6 ϕ - @100)

3) 材料強度ほか；

$F_c = 213.3\text{kg/cm}^2$, $\sigma_y = 3650\text{kg/cm}^2$,

$\sigma_{wy} = 3270\text{kg/cm}^2$,

軸方向応力度 $N/bD = 40\text{kg/cm}^2$

4) 実験結果 (t , kg/cm^2)；

曲げひび割れ時； $Q_{bc} = 4.00(\tau = 13.44)$,

曲げせん断ひび割れ時； $Q_{bsc} = 4.50(\tau = 15.1)$,

せん断ひび割れ時； $Q_{scr} = 7.25(\tau = 24.37)$,

最大荷重時； $Q_{STU} = 9.75(\tau = 32.8)$

破壊モード；せん断引張破壊

5) 曲げひび割れ強度及び発生位置

$Z_e = 2.474 \times 10^3\text{cm}^3$, $N/bD = 40\text{kg/cm}^2$ より、下記の値となる。

$M_{bc} = 164.00 \times 10^3\text{kg} \cdot \text{cm}$, $Q_{bc} = 3280\text{kg}$ (柱脚), 従って、曲げせん断ひび割れ発生高さ及び高さは、次の値となる。

$$x_b = 16.03\text{cm}, x_{b1} = 0.802$$

6) 曲げせん断ひび割れ強度

(3.6) 式に各値を代入し、

$$40 + 26.27(x_{b1} - x_{n1}) - \sigma_c \cdot x_{n1}/2 - 0.291 \\ \times \sigma_c(x_{n1} - 0.168)/x_{n1} + 0.291\sigma_c \times (0.85 \\ - x_{n1})(2.5 - x_{b1})/x_{n1}/(2.5 - x_{n1}) = 0 \quad (1)$$

(3.15) 式は、下式となる。

$$\{40.0(x_{n1} - 0.5) + (2.5 - x_{n1})Q/bD\} = \\ \sigma_c \cdot x_{n1}^2/3 + 0.291\sigma_c\{(x_{n1} - 0.168)^2/ \\ x_{n1} + (d_1 - x_{n1})^2 \times (2.5 - x_{b1})/x_{n1}/ \\ (2.5 - x_{n1})\} + 5.061 \times 10^{-3}(1 - x_{b1}) + \\ \{5.90 + 26.3\}(x_{b1} - x_{n1}) \quad (2)$$

(3.17) 式は、下式で表わされる。

$$Q_{bsc} = \{1.27/(1 - x_{n1}/3j_1)\} \times \{5.06 \times 10^{-3} \\ (1 - x_{b1}) + 1.8\sqrt{F_c}(x_{b1} - x_{n1}) + 5.90\}bj \quad (3)$$

ここで、 $j_1 = 0.875d_1$ として(1)式、(2)式、(3)式を連立して解くと次の結果となった。

$$x_{n1} = 0.703, \sigma_c = 81.5\text{kg/cm}^2, Q_{bsc} = 5004\text{kg}$$

7) せん断ひび割れ強度

(4.6) 式に各値を代入して整理すると次式となる。

$$N/bD - 0.5x_{n1} \cdot \sigma_c - 0.291\sigma_c\{(x_{n1} - d_{c1})/ \\ x_{n1} - (d_1 - x_{n1}) \cdot (H/D - d_1)/x_{n1}/(H \\ /D - x_{n1})\} + 1.8\sqrt{F_c}(1 - x_{b1}) = 0 \quad (4)$$

同様に、(4.11) 式は次式のように表わされる。

$$40.0(x_{n1} - 0.5) + (2.5 - x_{n1})Q/bD = \sigma_c \times \\ x_{n1}^2/3 + 0.291\sigma_c\{(x_{n1} - 0.168)^2 + (H/D \\ - d_1) \cdot (d_1 - x_{n1})^2/(2.5 - x_{n1})\}/x_{n1} + \\ 3.6\sqrt{F_c}(1 - x_{b1}) \cdot \{x_{n1} + (1 - x_{b1})/2\} \\ + 2.4 \cdot n \cdot p_w \cdot \sqrt{F_c} \times (x_{b1} - x_{n1})^2/(d_1 \\ - d_{c1}) \quad (5)$$

次に、(4.16a) 式は次式のように表わされる。

$$Q = \{1.27/(1 - 0.381x_{n1})\} \times \{(1.8 \times \\ F_c(1 - x_{b1}) + 1.39 n \cdot p_t \cdot \sqrt{F_c} + 3.6 n \\ \times p_w \cdot \sqrt{F_c}(x_{b1} - x_{n1})^2/(d_1 - d_{c1})\}bj \quad (6)$$

以上の各式を連立して解くと次の結果となった。

$$x_{n1} = 0.533, \sigma_c = 137\text{kg/cm}^2, \\ Q_{scr} = 7248\text{kg}$$

8) せん断引張破壊

(5.17) 式より $x_{n1} = 0.259$ 。この結果を (5.23.b) 式に代入してせん断引張破壊時の終局せん断力を求めるとせん断圧縮強度を大きく下回る次の値となった。

$$Q_{STU} = 9,255\text{kg} \text{ (注, } Q_{SCU} = 13,744\text{kg)}$$

6.2 曲げせん断ひび割れ、せん断ひび割れ及びせん断破壊に対する検討

試験体記号番号 102-C2-6

実 験 者：池田明男⁷⁾1) 試験体形状； $b \times D = 20 \times 20\text{cm}^2$, $H/D = 2.5$,

$$d = 17\text{cm}, d_c = d_t = 3$$

2) 配 筋； $p_t = 1.94\%$ ($2 - D22$),

$$p_w = 0.56\% \text{ (} 6\phi - \text{@}50\text{)}$$

3) 材料強度ほか；

$$F_c = 267.0\text{kg/cm}^2, \sigma_y = 3650\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{wy} = 3270\text{kg/cm}^2$$

$$\text{軸方向応力度 } N/bD = 100.0\text{kg/cm}^2$$

4) 実験結果 (t , kg/cm^2)曲げひび割れ時； $Q_{bc} = 5.00$ ($\tau = 16.81$)曲げせん断ひび割れ時； $Q_{bsc} = 9.00$ ($\tau = 30.25$)せん断ひび割れ時； $Q_{scr} = 10.00$ ($\tau = 33.61$)最大荷重時； $Q_{SCU} = 13.20$ ($\tau = 44.37$)

破壊モード；せん断圧縮破壊

5) 曲げひび割れ強度及び発生位置

$$Ze = 2.474 \times 10^3\text{cm}^3, N/bD = 100\text{kg/cm}^2 \text{ より}$$

$$M_{bc} = 320.17 \times 10^3\text{kg}\cdot\text{cm}, Q_{bc} = 6403\text{kg} \text{ (柱脚)}$$

 $x_{b1} = 1.147$ 。従って、解析の結果では曲げせん断ひび割れは発生しない。

6) 曲げせん断ひび割れを伴わないときのせん断ひび割れ強度

圧縮域のコンクリートの圧縮ひずみは最大強度時のひずみを超過しているものと仮定する。

$$100 + 29.41(1 - x_{n1}) - 3F_c \cdot x_{n1}/4 - 0.0194 \times \\ 3650 + 0.291F_c(d_1 - x_{n1}) \times (H/D - d_1)/ \\ x_{n1}/(H/D - x_{n1}) = 0 \quad (7)$$

(4.20) 式は、次の式で表わされる。

$$\{100(x_{n1} - 0.5) + (2.5 - x_{n1})Q/bD\} = 5 \times \\ F_c \cdot x_{n1}^2/8 + 0.0194 \times 3650 + 0.291F_c(d_1 - \\ x_{n1}) \times (H/D - d_1)/x_{n1}/(H/D - x_{n1}) \\ + C_F T_C \cdot \sqrt{2}(1 - x_{n1})/2 \quad (8)$$

- 2) この複合応力状態における挙動に関しては、コンクリート強度、シャースパン比、軸方向力、引張鉄筋比、せん断補強筋比等の諸因子が影響すると言われているが、本モデルによっては、これらの総ての因子を考慮して解析することが出来る。
- 3) 曲げひび割れ強度、せん断ひび割れ強度に対しても引張鉄筋比及び軸方向力の影響が大きく、軸方向力が大きい場合には曲げせん断ひび割れは生じない。
- 4) 曲げせん断ひび割れを伴わないせん断ひび割れ発生時の応力状態については、圧縮域のコンクリートは最大強度に達している。
- 5) せん断補強筋が少ない場合の破壊は、従来、せん断引張破壊と言われてきたが、解析によると直接せん断力によるずれ破壊と思われる。
- 6) 大地震時に予想される柱脚部のせん断破壊を防止するためには、圧縮域のコンクリートの限界圧縮ひずみの大きさを高める必要がある。
- 7) 圧縮域のコンクリートの限界ひずみを高め、そしてせん断引張破壊強度以上となるようにせん断補強を行えばせん断破壊は生じない。

なお、この研究は、難題のせん断問題の究明のための一考察として行ったものであり、今後は変形を含めてより詳細にわたる研究を進める予定である。

[謝 辞] 本研究は、1975年に発生した大分県中部地震による RC 造建物の被害調査を契機として行ってきたものであり、長い年月にわたって取り組んできた。こ

の間には100体を越える試験体を製作し、主として動的に水平力を加えてせん断抵抗機構究明のための実験的研究を行ったきた。この長い歳月にわたって有明高専卒業生の皆様方、そして本校技官の諸氏からは献身的なご尽力とご協力を頂いた。また、この研究を進めるにあたっては、富井政英・九州大学名誉教授、花井正實・広島大学名誉教授よりは貴重な助言と数々の激励の言葉を頂きました。ここに記して心より深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会；1968年十勝沖地震調査速報，建築雑誌，1968.
- 2) 日本建築学会；1975年大分県中部地震による RC 建物の被害調査報告，1976.
- 3) 日本建築学会；兵庫県南部地震災害調査緊急報告会，1995.
- 4) Kani G. N. J.; The Riddle of Shear Failure and Its Solution, ACI Journal, Vol. 61, No. 4, Apl. 1964.
- 5) 日本建築学会；鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針 (案)・解説，1988.
- 6) 古賀砂織・谷口尚子；RC 部材の Interface Shear と曲げせん断力抵抗機構に関する研究，平成6年度卒業研究，1994.
- 7) 広沢雅也；既往の RC 柱実験資料，建築研究資料，1973.

付記・[使用記号]

a_s	;鉄筋の断面積
a_w	;1組のせん断補強筋の断面積
b	;柱の幅
C_c	;コンクリートの圧縮合力
C_s	;鉄筋の圧縮合力
D	;柱のせい
d	;有効せい
E_c	;コンクリートのヤング係数
E_s	;鉄筋のヤング係数
e	;偏心距離， $e_1 = e/D$
F_c	;コンクリートの設計基準強度，最大強度
G_c, G_s	;コンクリート，鉄筋のせん断弾性係数
H	;柱脚から反曲点までの高さ， $H/D = \text{シャースパン比}$
j	;曲げ材の応力中心距離

M_c	;ひび割れ時曲げモーメント
M_u	;終局時曲げモーメント
N	;柱の軸方向力
n	;ヤング係数比，断面算定では $n = 15$ とする.
p_t, p_c, p_w	;引張鉄筋比，圧縮鉄筋比，帯筋比
Q	;せん断力
T	;コンクリート，鉄筋の引張合力
x	;せん断補強筋の間隔
x_b	;曲げせん断ひび割れ発生高さ， $x_{b1} = x_b/D$
x_n	;圧縮縁から中立軸までの距離， $x_{n1} = x_n/D$
γ	;せん断ひずみ
ε	;軸方向ひずみ
σ	;曲げ材の応力度
τ	;せん断応力度

添 字 ひび割れ時 bc ; 曲げ， bsc ; 曲げせん断， sc ; せん断
終 局 時 BU ; 曲げ， BSU ; 曲げせん断， STU ; せん断引張， SCU ; せん断圧縮

からくり人形の復元についての一考察

木下正作・原楨真也・川崎義則

〈平成7年10月2日受理〉

A Consideration on Restoration of a Karakuri Ningyo

Karakuri Ningyoes (Dolls) are constructed by only mechanical elements without any electrical or electronic elements. The first objective of this study is to know surprising wisdom of Ningyoshi (Ningyo designer) that is discovered through restoration of a Chahakobi Ningyo, one of the most popular Ningyoes among Karakuri Ningyoes. And comparing this restored Ningyo with the another Ningyo redesigned by introduction of mechatronics is the second objective. As the results, the essence of mechatronics, the new integration technology of mechanism and electronics are clarified.

Syousaku KINOSHITA, Shinya HARAMAKI and Yoshinori KAWASAKI

1. 緒 言

メカニズムとエレクトロニクスの一体化技術はメカトロニクスと呼ばれ4半世紀を経ようとしている。一体化とは、機械と電子をそれぞれもってきて単に結合するだけでなく、互いに融合し、互いの長所を生かし影響し合いながら最適化を図ることを意味するものであると言われる。¹⁾エレクトロニクスの急速な発展、特に小型化、高速高精度化、低価格化に伴ない、メカトロニクス製品はすでに、工業用はもとより、民生用として家庭の中にも進出、様々な形で浸透している。

ある技術の本質をより深く理解する一つの方法として、設計に極端な制約を設けた形での設計を行うという問題設定を挙げることができよう。上記の例でいえば、エレクトロニクスを全く用いないメカニズムのみの設計ということになる。この好例が、わが国で一時栄えた技術、からくり人形である。これは、駆動する動力はもとよりすべての動きをエレクトロニクス(エレクトリック)を全く用いることなく、すべて機械的なからくりによって構成するものである。

本報告は、からくり人形の1つである茶運人形の細川頼直著「機巧図彙」²⁾に基づいた忠実な復元とその運動機構の解析を試みたものである。この復元、解析を通して、現代流に言えば、車輪型移動用ロボットに分類されるこの人形の中に「温故知新」の言葉通り、現在の我々からみても驚嘆に値する先人の知恵の結晶が随所で確かめられた。

復元は、本学科の課外活動の1つ、DIY 愛好会のサークル活動のテーマとして、内田知洋君(現長岡技

科大大学院)、岩津壮一郎君(現長崎大学)らにより平成4年に着手されたあと、平成5年度卒業研究テーマとして國武信広君(現三菱重工業高砂製作所)、上原泰臣君(現平田機工)により、また同6年度テーマとして奥菌剛君(現三菱重工業長崎造船所)により、それぞれ実施された。本報告は、これら学生の活動に関する実践報告でもある。

以下、2. において、茶運人形の基本動作とメカニズムについて示す。3. では、メカニズムに対する力学的解析を行う。また 4. では復元した茶運人形の概要について示す。最後に、この茶運人形の基本動作のうち中心となる前進、旋回運動のみを、現代のメカトロニクスの技術を投入して製作した現代版茶運人形について 5. で紹介する。これにより、エレクトロニクスとメカニズムとの融合化、一体化、すなわちメカトロニクスの本質の理解がより明確となるのである。

2. 茶運人形の基本動作とそのメカニズム

1796年に細川頼直によって著された、からくりの設計書ともいわれる『機巧図彙』²⁾(図1参照)によれば、茶運人形の基本動作は図2に示す通りである。

すなわち、主たる動作は前進、180度旋回の2つからなる移動である。その他、移動という目的と直接の関係はないが、人形の両足が、内股気味にあたかも歩いているかのような動作を行うことと、人形の前進中、頭部を首のところで、ゆっくりと前後に振ることが運動として付加されている。これらの愛嬌ある動作には設計者の心憎いばかりの設計に対する余裕が見えかくれている。

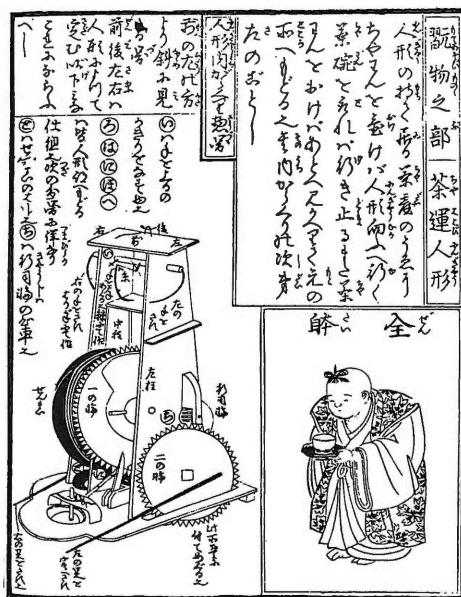


図1 茶運人形の全体図

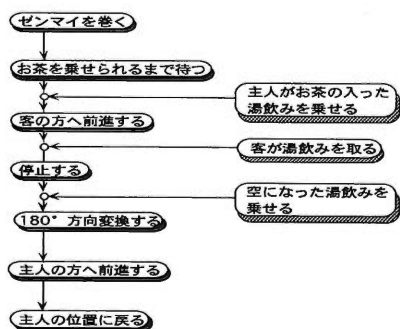


図2 茶運人形の基本動作

これらの、基本動作を実現するために茶運人形は以下のメカニズムで構成されている。

まず、すべての動作の動力源はくじらのひげぜんまいのみでまかなわれていることに注目しておく。

(1) 原軸には、ラチェットがキーで固定されており、歯車およびカムとは自由になっている。ぜんまいを巻くときは、原軸とラチェットが回転する。ラチェットには、常に歯車に取り付けてある爪が引っかかっており、逆回転時に、動力が伝わる。

(2) 湯飲みを乗せていない時は、ストップ①が効いているので人形は動かない。湯飲みを乗せることにより、ストップが外れ、人形が動き出す。このストップには、歯車に取り付けてあり、この歯車は、車輪用の歯車と

噛み合っている。(図3参照)

(3) 湯飲みを取ることによって、再びストップが働き人形は静止する。

(4) カムが原軸とともに回転して、リンク②に接触する。リンク②が前に傾くことによって、連結されているリンク③が前に押し出される。そして、方向舵と共に前輪が角度を変え、180度方向転換しもとの位置に戻ってくる。(図4参照)

(5) 歩行動作をみせる両脚の交互前進運動は、右輪と左輪にとりつけられた棒のクランクピストン運動で実現される。

(6) 人形の前後方向への首振り運動は、同じく車輪に偏心して取り付けられた糸により実現される。

(7) 歩行速度を調節するために、行司輪の円周上にとりつけられたピンと上下で交互に干渉するように配置された天符と呼ばれるものが考えられている。

このように、茶運人形のすべての動作を実現するために、メカニズムの構成要素が、歯車、ラチェット、リンク、カム、バネ、ぜんまい等すべて導入されているのである。

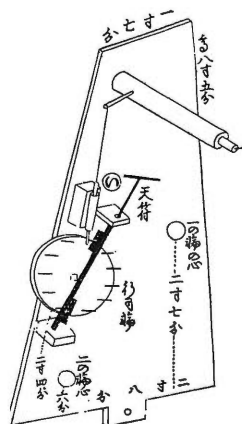


図3 ストップと天符

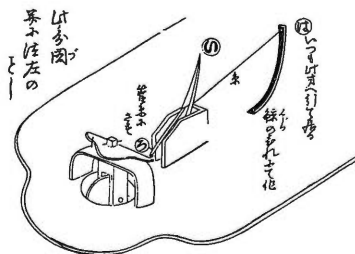


図4 方向転換のからくり

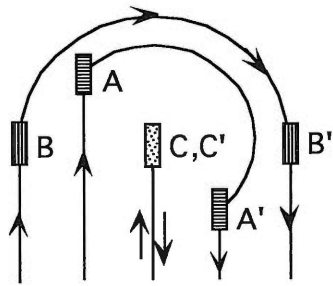


図 5 旋回メカニズム

3. メカニズム解析

前章で述べた人形の動作を実現するメカニズムのうち、ここでは、重要と思われる旋回メカニズムと天符を用いた歩行速度調節メカニズムとについて示すことにする。

3.1 旋回メカニズム

お客が茶を飲み終えて湯飲みを戻したあと、旋回動作が開始、人形が180度旋回したとき終了し、再び前進運動を行うことになる。この旋回運動における車輪の軌跡を図5に示す。

図中、Bが左車輪で動輪、Cが右輪で空転輪、そして、Aが前輪で舵取りの役目を果たすものである。旋回開始時、旋回終了時の各車輪の位置をそれぞれA, B, C, およびA', B', C'とする。このとき、旋回運動時に空転輪(右車輪)が完全に空転する(CとC'が一致)と仮定すれば、車輪B, Cはそれぞれ半径BC, 半径ACとする円運動をすることになり、特に、車輪Aはその向きが、半径ACとする円の接線方向を向いていなければならない。カムの形状とリンクの長さの関連寸法はこのことを考慮して決定されることになる。

なお前進(直進)運動のときには、空転輪Cが、車軸につれ回りすることで実現されることになる。子供用三輪車の前輪の舵取りのみでスムーズな旋回ができないことは我々も幼少時の経験から知っているが、このように直進・180度旋回という2つの動作が、差動歯車等の高等な装置を用いることなく、空転輪をうまく利用することで、よりスムーズに実現されているのである。茶運人形に注がれた先人の優れた知恵の一つであるといえる。これに似たメカニズムは現在においても耕耘機、バインダー(米麦の刈取り・結束)等の二輪車の方向転換の際に用いるサイドクラッチと称するものに見ることができる。つまり右(左)側旋回するとき、動力を右(左)車輪側と切り放すことで左(右)側車輪のみ駆動することにより小回りのきく旋回を実

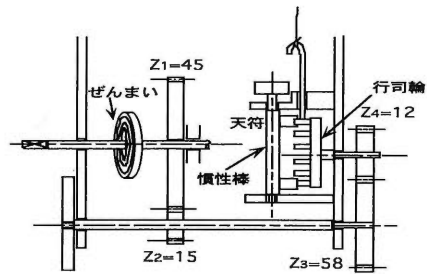


図 6 動力伝達系

現しているものである。

3.2 天符による速度調節メカニズム

人形の歩行速度を調節する重要な役目を果たするのが天符と呼ばれるメカニズムである。その天符系は、行司輪系と慣性棒系^{注1)}とから構成されている。行司輪は駆動源となるぜんまい系から、2段の歯車列を経て位置しており(図6参照)、その行司輪の円周上に、複数本(奇数でなければならない)のピンが配置されている。一方、慣性棒には、頭部に慣性モーメントをもたせる意味から金具をT型に付けてあり、下部に、行司輪のピンとタイミング良く交互に干渉するように90度の位置でひれ(金属片)が2枚配置されている。このT型の金具(慣性棒の軸まわりの慣性モーメント)、行司輪のピンの配置、そして、ひれの形状およびひれと行司輪のピンとの間隔等は、人形の歩行速度を決定する重要な要素となることに注意しておきたい。

簡単に言えば、ぜんまい仕掛け特有の歯車列(増速)を介して、天符系によりぜんまいのエネルギーを少しずつ小だしにする工夫がなされているのである。³⁾

これら天符による速度調節系全体のブロック線図を図7に示している。ただし、説明の簡便のため、細部については省略している。

(1) ぜんまい系

くじらのひげぜんまいについては、現在のところ入手不可能であるため、復元についてはひと昔前の目覚時計用のぜんまいを用いたので、そのぜんまいについて得られた特性より示すことにする。それによれば、いま、

$T_{1\max}$: ぜんまいを巻き上げた時の復元トルク [N・m]

k : 比例定数 [N・m/rev]

n_1 : 原軸の回転数(ぜんまいの解けた回転数) [rev]

注1) 一般にはこの慣性棒のことを狭義に天符と呼んでいるようであるが、ここでは行司輪と慣性棒とを合わせて天符系と呼ぶものとする。

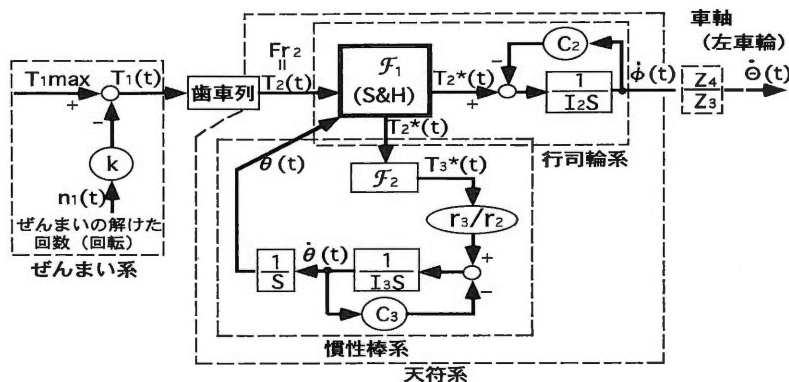


図 7 天符による速度調節系のブロック線図

とするとき、ぜんまいの復元トルク T_1 は

$$T_1 = T_{1\max} - kn_1 \text{ で表される.}$$

(2) 行司輪系

動力はぜんまいのついた原軸より歯車列（増速）を介して走行軸へ、さらに第2の歯車列（増速）を経由して行司輪と呼ばれる円板の円周上に奇数本のピンが配置されたものと伝達される。いま、

I_2 : 行司輪の慣性モーメント $[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$

C_2 : 行司輪に関する粘性抵抗係数 $[\text{N}\cdot\text{s}/\text{rad}]$

Φ : 行司輪の回転角度 $[\text{rad}]$

r_2 : 行司輪のピンのピッチ円半径 $[\text{m}]$

とすれば

$$I_2 \ddot{\Phi} = T_2^* - C_2 \dot{\Phi}$$

を得る。ぜんまいによる復元トルクが行司輪へそのまま無制限に供給されるのを抑制するために、行司輪のピンと、後述の慣性棒の2枚のひれとが干渉することになる。図7ではこの現象を説明するために $\mathcal{F}_1$ (S & H) を導入している。これは、離散値系で定義されるサンプラー&ホールドである。ピンとひれの干渉毎に入力信号 $T_2(t)$ がサンプル・ホールドされて信号 $T_2^*(t)$ となると考えている。しかも重要なことは、この場合のサンプリングタイムが行司輪のピンの個数、慣性棒の慣性モーメント等により支配されること、また、このことにより入力信号 $T_2(t)$ の供給をも支配していることである。つまり、行司輪と慣性棒とから成る天符系は、連続的（アナログ）な入力信号を離散化（デジタル）するということと、同時にそのサンプリングタイムにより入力信号の供給をも制御しており、現在からみても驚くべき先人の知恵であるといえる。

(3) 慣性棒系

I_3 : 慣性棒の軸まわりの慣性モーメント $[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$

C_3 : 慣性棒に関する粘性抵抗係数 $[\text{N}\cdot\text{s}/\text{rad}]$

θ : 慣性棒の回転角度 $[\text{rad}]$

r_3 : 慣性棒の軸心と行司輪ピンとの接触点との距離 $[\text{m}]$

とおけば

$$I_3 \ddot{\theta} = T_3^* \cdot \frac{r_3}{r_2} - C_3 \dot{\theta}$$

が得られる。

なお、入力信号 T_3^* は、図7に示す要素 $\mathcal{F}_2$ により

$$T_3^* = \begin{cases} T_2^*(t), & t = 0, 2T, 4T, \dots, 2nT \\ -T_2^*(t), & t = T, 3T, 5T, \dots, (2n+1)T \end{cases}$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

なる形で得られるものと説明づけることができる。ここに T はサンプリングタイムである。

4. 復元した茶運人形

本章では、細川頼直著『機巧図彙』²⁾を参考に、茶運人形の復元を試みた内容について示す。上記文献は、現代のJISBの規格等が全く考えられない時代に、毛筆書きでそれら規格に決して後れをとらない書き方で、人形の機能的説明、製作図面、材質等にも記述が及んでいる。特に寸法に至っては、もちろん単位は尺貫法で“[]寸ばかり”とかの記述があるが、その一方でそのあいまいさを十分補うだけの見取り図等の工夫が施されている点には驚嘆する。

復元人形は、より文献の記述に近い形で設計製作するように心掛けた。ただし不確かな部分は適宜アレンジすることにした。材質については、今回は木材に代わり、便宜上アルミ合金とし、また動力源についても、前章で示したように鋼製のぜんまいを用いることにした。歯車については、原軸と車軸の第1段にはモ

ジュール 2, 車軸と行司輪の第 2 段にはモジュール 1.5 を採用した。完成した復元茶運人形の全体図, 部分図を写真 1, 写真 2 および写真 3 に示している。

5. 茶運人形のメカトロニクス手法による再構成

5.1 各機構のメカトロニクスによる変換

茶運人形の基本的な運動は, 前進, 旋回の 2 つであり, まずお茶を乗せられたときの検出が必要である。また旋回については, 駆動輪の回転数の差によって行えば, その場での旋回も可能であり, 方向舵輪も不要となり前進と旋回は駆動部の回転数の制御のみでできるようになる。よってお茶を乗せたときの検出と駆動部の制御の 2 つをメカトロニクスを使って茶運ロボットを再構成し設計・製作することにする。

本体材料は, 加工しやすいアルミ合板を使用することにした。駆動部にはモータを使用するが, 普通の DC モータを使った場合, 減速装置や回転数計測器などが必要となる。一方ステッピングモータの場合回転数の制御が簡単で低速回転高トルクとなり, 減速装置が要らなくなり, 部品数も減少する。したがって, ここではステッピングモータを 2 個使用し, モータシャフトに車輪を直接取り付けることにした。また電源については, ステッピングモータの作動電源が 9.6 V である

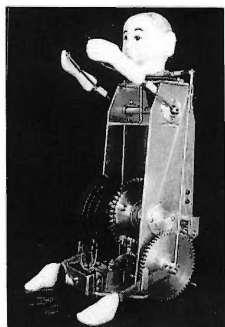


写真 1

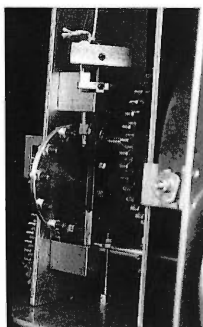


写真 2

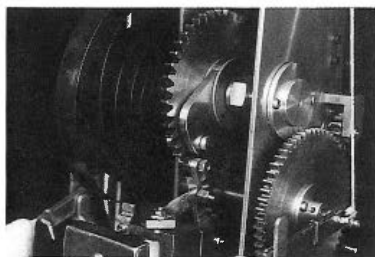


写真 3



写真 4



写真 5

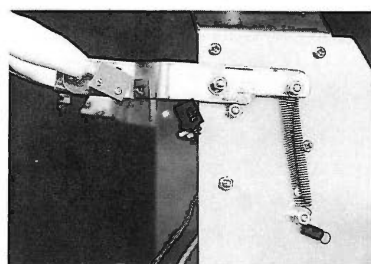


写真 6

ため, 10 V のシールドバッテリーを使用することにした。

検出のセンサーには, 普通の押しボタンスイッチやリミットスイッチがあるが, ここでは非接触でスイッチの ON, OFF の検出が可能な光半導体であるフォトインタラプタを使用することにした。そして制御のハードにはポケコン PC-G815 を使用, プログラム言語としては, C 言語を使いステッピングモータ 2 個とフォトインタラプタを制御することにした。完成した再構成人形の全体図, 部品図を写真 4, 写真 5 および写真 6 に示している。

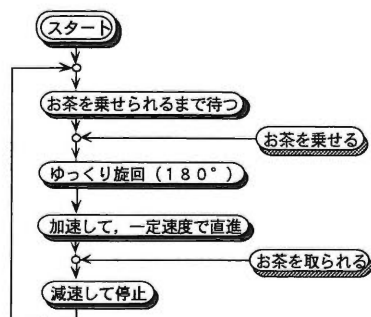


図 8 茶運人形（再構成人形）の基本動作

5.2 茶運ロボットの基本動作とメカニズム

以下(図8参照)に基本動作のフローチャートを示す。

(1) まずスタートさせると茶運人形と同じように、お茶を乗せられるまで待つ。これはフォトインタラプタを使って、乗せられたときのみスイッチが入るようにしている。このため、待つという動作はスイッチがONになっているかを判断するプログラムを繰り返し実行させている。

(2) 旋回の動作は、加速回転と減速回転の2つに分けられる。お茶を乗せられた直後、静止状態であるために、急な旋回はお茶を落とす恐れがあるので、徐々に旋回のスピードを上げることにした。そして旋回が終わるときも急に停止せずにゆっくりと停止する。

(3) 前進はゆっくりとした加速から始まる。そして一定速度に達すると、その速度を維持したまま直進する。お茶を取られるか、任意の設定された距離を進むと減速して止まる。お茶を取った時点で動作の最初の状態に戻り、また乗せられるのを待ち続ける。つまり、このロボットは、同じ動作を繰り返し実行するシーケンス制御によって動いている。

5.3 復元人形と再構成人形の比較検討

完成品の全容、動作状況から以下のような比較検討ができる。

(1) 動力源

復元人形は基本的に1つのぜんまいですべての動きを取りまとめている。それに対して、再構成人形の場合、バッテリーを使用して、電気でモータを駆動させ、タイヤを回している。

(2) 信号の伝達

復元人形の方は、お茶を乗せることによって、ストッパーが外れ、人形が動きだし、カムがリンク、方向舵を押し出し方向転換するという全体の流れが巧みな機構のもとに行っているのに対し、再構成人形は、すべて電気信号によって伝達されている。そのため、反応速度が速く、素早く反応することが出来る。

(3) 構造

復元人形はぜんまい1つの動力でほとんどの動作をまかなうため、歯車、リンク、カムなどの機械要素を至る所に用いており、構造はかなり複雑になっている。しかし再構成人形は、電気で信号を伝達しているため、構造自体は極めて簡単である。

(4) 移動速度

復元人形の移動速度は、ぜんまいを巻く量の違いで多少の速度差を生じるが、ほぼ一定である。しかし、基本的に再構成人形の方は、プログラムで制御されて

いるため、速度や加速、減速が任意に指定できる。

(5) 移動距離

復元人形の移動距離はカムの大きさが決まっているので、直線移動距離は一定である。それに対して、再構成人形の方は、プログラム制御であるため、速度と同じように任意の距離が設定可能である。

(6) 応用性

復元人形は組み見込まれている機械要素の大きさやぜんまいの特性が決まっているので、動作の変更は困難である。それに対して、再構成人形は、上記の通り、任意の移動モードに対応可能となる。つまり、復元人形が固定したメカニズムというハードで構成されているのに対し、再構成人形は最小のメカニズムをソフトウェアでカバーしている。

このように復元人形とメカトロニクス手法を用いた再構成人形とを並べて比較してみると、本報告の冒頭で述べたメカニズムとエレクトロニクスの融合化、一体化の本質がより明確になることが分かる。すなわち単なる両者の結合でなくメカトロニクスの導入は設計における基本的考え方を交換させるものとなるのである。

6. 結 言

本報告はわが国で江戸時代に栄えたからくり人形に注目し、その中の代表的な人形の1つである、茶運人形を考察の対象とした。

まず、文献に基づいてできる限り忠実に復元を試みた。つづいて、人形のもつ基本的な運動機構における、旋回メカニズムと歩行速度調節メカニズムについてそのメカニズム解析を加えた。この2つのメカニズムの中に古人の英知が凝縮されていることが発見できた。つぎに、復元した茶運人形と同機能を有する現代のメカトロニクス技術を用いた再構成人形の設計・製作を行った。復元人形と再構成人形とを対比させることにより、両者のそれぞれの特徴がクローズアップでき、メカニズムとエレクトロニクスの一体化技術、すなわち、メカトロニクスの本質をより明確にすることが可能となった。

ここで製作した人形は本校機械工学科の機械製図(2学年)、機械要素設計(同3学年)の授業開講当初に教室へ持参し、科目の動機付けを狙ってデモを行っているが学生に好評である。

おわりに製作にあたり、ぜんまいの提供と数々のアドバイスをしていただいた原時計メガネ専門店の原律利氏に感謝申し上げます。私共の手元にぜんまいを届けてくれた娘さんが原さんの愛娘原寿江さん。何と本校工業化学科4年生である。人間のからくり驚くと

ともにあらためて感謝の気持ちで一杯である。

参 考 文 献

- 1) 精密工学会編，精密工学シリーズ，メカトロニクス，(1989)，1，オーム社.
- 2) 細川頼直，江戸科学古典叢書，機巧図彙，(1976).
- 3) 示村悦二郎，自動制御とは何か，(1990)，コロナ社，107/112.
- 4) 千田靖子，からくり人形の機械技術，日本機械学会誌，97-913，(1994)，1019/1021.
- 5) 立川昭二，ものと人間の文化史，からくり，(1969)，法政大学出版局.
- 6) 立川昭二，甦えるからくり，(1994)，NTT 出版.

Axial Hole Deviation in Deep Drilling (1st Report)* —Influence of Misalignments in Drilling System—

Koichi TAGUCHI**, Akio KATSUKI*** and Keizo SAKUMA⁺

In deep drilling operations, the misalignment of the hole axis tends to deviate from the desired axis, and this dominant problem occurs frequently. In the present paper, the influence of a pilot bush, a bar support and a tool holder (or a spindle) on the hole deviation is investigated and the mechanism of the formation of that deviation is analysed theoretically and verified experimentally. It is clarified that the machined hole tends to deviate toward the direction of the inclination of a tool head in the rotating tool system. It is also observed that if the pilot bush or the bar support (e. g. an oil seal in machining by a BTA tool) is misaligned for the desired axis, the bar shank bends, makes the tool inclined, and as a result, the machined hole deviates from the desired axis. If such a process proceeds, the deviation becomes large. On the contrary, in the rotating workpiece system, the inclination of the tool head usually cannot keep any constant direction on the workpiece reference system. So it will almost move along the desired axis even if some slight misalignment exists. Therefore the magnitude of the hole deviation is smaller than that in the rotating tool system.

Key words: deep drilling, hole accuracy, axial hole deviation, misalignment, mechanism of formation of hole deviation, pilot bush, bar support, rotating-tool system, rotating-workpiece system

1. Introduction

The hole accuracy is evaluated by hole oversize, roughness, roundness, etc. and some of the factors which affect them have been previously discussed^{1) 3)}. In deep hole drilling with gundrills, BTA type tools and long drills, hole deviation called runout from the desired axis, occurs and sometimes becomes a serious problem. Particularly, when the ratio of hole length to diameter (L/D) becomes large, the hole deviation is more serious. It is reported that the main causes of the hole deviation are: misalignment of the axes of the main spindle and the tool and pilot bush, inclination of the front face of workpiece, incorrect setup of the workpiece and nonhomogeneity of work material^{4) 5)}. However, the mechanism of formation of the hole deviation and the degree of the effects of each factor on it are not clarified precisely.

It is known through experience that drilling with the rotating workpiece and stationary tool system is superior to the one with the rotating tool and stationary workpiece system, in terms of hole deviation. However, the mechanism and causes are not clarified yet.

In the present paper, the general tendency of hole deviation and the change of tool attitude when the hole deviated were examined. The mechanism of the hole deviation was found to result from misalignment of the machining system. Further, it is discussed why the deviation in the rotating workpiece and stationary tool system is less than that in the rotating tool and stationary workpiece system.

*Received 18th September, 1994.

**Ariake National College of Technology: 150, Higashihagio-machi, Omuta, 836 Japan

***Faculty of Engineering, Kyushu University: 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812 Japan

⁺3-4-5, Hatta, Higashi-ku, Fukuoka, 813 Japan

2. The effect of misalignment on the tool attitude at the beginning of machining

The bending stiffness of a deep hole drilling tool is very low due to the large L/D ratio. Therefore, it is difficult to bear a cutting load on the boring bar. For this reason, a pilot bush is necessary to support the radial cutting forces acting on the tool at the beginning of cutting.

Deep hole drilling tools are classified into long twist drills, gundrills and BTA system solid boring tools, etc. Gundrill and BTA tools are basically single edged tools. The guide pads are provided on the periphery of the tool head and counterbalance the normal forces by contacting the hole wall.

In machining by a gundrill, cutting oil is supplied to the cutting lips through the hollow shank and returns carrying chips through the space between the hole wall and the V-type groove of the tool shank. A chip box is mounted behind the pilot bush.

In drilling by a BTA tool, cutting oil is fed through the annular space between the hole wall and the periphery of the tool, and exhausts through the inside space of the boring bar, carrying the chips with it. At the entrance of the hole, the workpiece contacts the oil pressure head which holds the pilot bush. In both machinings, tools are supported by the front pilot bush and the rear oil seal at the beginning of machining. Therefore it is necessary that the axis of the main spindle, the tool axis, the axis of the pilot bush and the center of the oil seal are arranged on a straight line which becomes the desired axis of machined hole. The feeding direction of the workpiece should also be parallel to the straight line. If one of them runs out from the straight line, the boring bar bends. Then the tool head shifts and/or inclines. For example, when a pilot bush shifts from the line, the tool head also runs out from the desired axis and inclines due to the bending of the tool (see Fig. 4 (a)).

3. Experimental procedure and apparatus

3.1 Deep hole drilling machine

The deep hole drilling machine used in this experiment was specially designed to be able to drill a workpiece with a gundrill, as well as a BTA tool with up to 25 mm diameter. This machine consists of a bed, spindle head, table and pressure head (bush support) (see Fig. 1). In the rotating workpiece system, the chuck fixed on the main spindle holds one end of the workpiece. The pilot bush supports the other end. The tool is clamped on the table which is fed longitudinally. In the rotating tool system, the tool is fixed on the main spindle.

In drilling with a gundrill, cutting oil is supplied through the hole of the spindle from the back of the spindle head. In the case of the BTA tool, oil is supplied through the pressure head in both rotating tool and rotating workpiece systems.

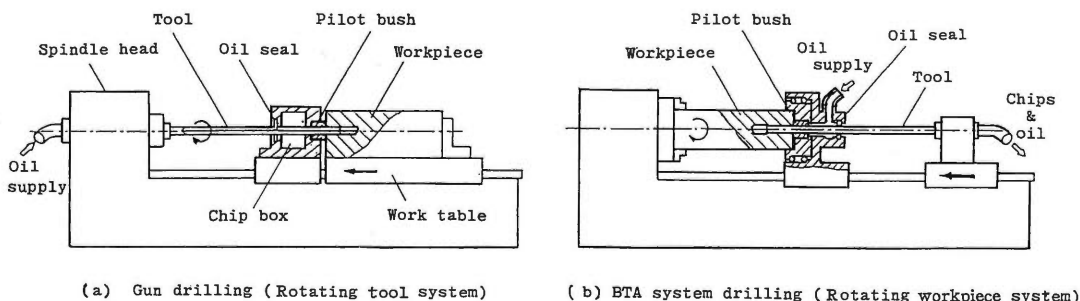


Fig. 1 Deep hole drilling machine

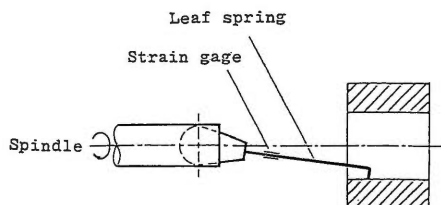


Fig. 2 Measuring method of alignment

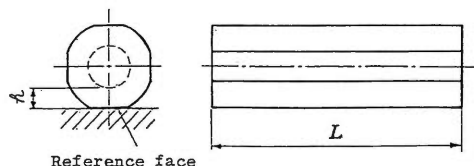


Fig. 3 Geometry of workpiece

3.2 Measurement of the alignment of the machining system

It is very important to measure the alignment of the machining system precisely, particularly in this study. Precise measurement of the alignment cannot be expected by fixing an indicator on the end of a cylinder which in turn is held by the revolving spindle, because the cylinder deflects due to the dead weight of the indicator. Hence a special utensil with a leaf spring at one end of the cylinder was designed (Fig. 2). The deflection at the front end (stylus) of the leaf spring was measured by strain gauges bonded on the spring. As the leaf spring was light, the utensil itself did not deflect so much. Furthermore, the ratio of magnification was very high. The influence of the dead weight of the leaf spring on its deflection during the rotation of the utensil could be minimized by bonding the strain gage on the position 0.25ℓ (ℓ : beam length) from the fixed end. The amount of strain there became zero. Theoretical deflection of the utensil was $0.6\mu\text{m}$ and its sensitivity was 0.86×10^{-6} strain/ μm . It can be used with 500 times magnification. The misalignment of the pilot bush and the oil seal, which becomes the support at the mid-point of the boring bar in machining by a BTA tool, from the spindle axis were measured by holding the utensil by a chuck. The spindle axis was paralleled to the feeding direction of the table. Inclination of the table was verified to be very small during machining.

3.3 Measurement of hole deviation

The hole deviation was measured in height using a datum plane on each section of the workpiece. Four datum planes were made on each workpiece (Fig. 3). The depth of hole was 200 mm. After drilling, the workpiece was cut every 50 mm, then put on a surface plate contacting the datum plane. The center of the hole was determined by measuring the thickness of two hole walls facing each other with an electric micrometer. The hole axis was plotted every 5 mm toward the bottom of the hole from the entrance; the origin was the center of the entrance of the hole.

4. Experimental result

4.1 The influence of misalignment of the pilot bush

The influence of misalignment of the pilot bush from the spindle axis on hole deviation was examined using a gundrill (Fig. 4). The center line of the chip box was shifted horizontally by about $100\mu\text{m}$ from the spindle axis. In this case, an oil seal held by the chip box also moved by the same amount from the spindle axis as that of the pilot bush. However the oil seal could not restrict the tool shank in this experiment, because it could move by $\pm 0.5\text{mm}$ in the radial direction. Hence, the oil seal could not support the tool shank in this experiment. Although the tool head inclined when it entered the pilot bush, the inclination of the tool head was not restricted by the pilot bush for the following reason. When clearance was $10\mu\text{m}$ maximum between the tool head and the guide bush, the maximum angle of tool's inclination became $\pm 3 \times 10^{-4}$ rad. When the bush was shifted by $100\mu\text{m}$, the inclination of tool head became 2.2×10^{-4} rad. Later to exclude the influence of unexpected factors on hole deviation, the experiments were performed in two such cases that the chip box moved about $100\mu\text{m}$ toward the front side ((+) on a worker's side) and

the back side ((-) opposite on his side).

The deviation from the axis parallel to the spindle axis is shown in Fig. 4(b). The origin was the center of the hole at 5 mm depth. It was apparent that machined holes deviated towards the direction of misalignment of the pilot bush. Theoretical values relating to the observations in Fig. 4(b) are described later. On the vertical plane, upward deviations were also recognized.

4.2 The influence of misalignment of a bar support (O-ring)

In the experiment using a BTA tool, the O-ring which was in the rear position of the oil pressure head kept the oil from leaking. It also tightened the boring bar and played the role of a bar-support. The oil pressure head consisted of the oil-supplying part and bush-supporting part. So the amount of misalignment of the O-ring was regulated by moving the rear portion of the pressure head horizontally without moving the front portion.

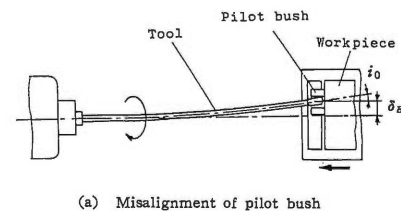
Experimental results are shown in Fig. 5. In the tool rotating and workpiece stationary system, a hole deviated toward the opposite direction for the direction of misalignment of the O-ring. Further, the deviation became larger as the depth grew deeper. But, in the rotating workpiece system, the amount of the hole deviation was very small, i.e., the influence of misalignment of the O-ring was negligible.

5. Mechanism of the hole deviation

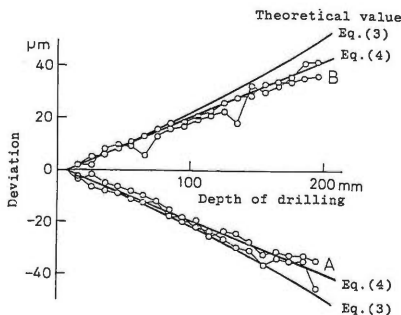
5.1 In the rotating tool system

It was made clear by the experiments that the hole deviated when misalignment of bush or bar support occurred. The hole deviation was large in the rotating tool system. The mechanism of the hole deviation in this system is discussed in the next section in terms of misalignment of a bush or a bar-support.

If the bush or bar support is misaligned from the spindle axis, the tool shank bar is supported with



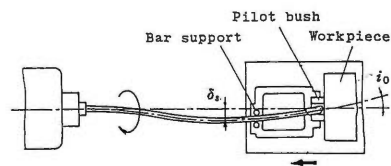
(a) Misalignment of pilot bush



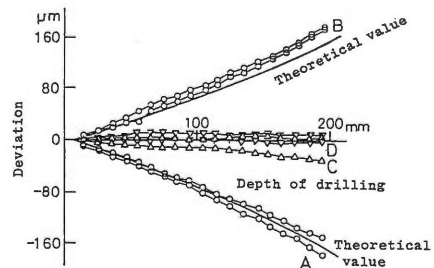
Deviation of pilot bush : A : -97 μm , B : +93 μm ,
Tool : 20 mm dia. Gundrill, Shank length : 695 mm,
Spindle speed : 1600 rpm, Feed : 0.04 mm/rev,
Work material : S35C.

(b) Experimental and theoretical values

Fig. 4 Influence of positional error of the pilot bush on hole deviation for rotating tool system



(a) Tool bend caused by deviated bar support



A & B : Tool rotating method,
C & D : Work rotating method
Deviation of bar support : A : 110 μm , B : -100 μm ,
C : 98 μm , D : -111 μm ,
Tool : 20 mm dia. BTA sys. tool, Shank length : 695 mm,
Spindle speed : 1600 rpm, Feed : 0.06 mm/rev,
Work material : S35C.

(b) Experimental and theoretical values

Fig. 5 Influence of positional error of the bar support on hole deviation

bent attitude and rotates around the bent axis. That is, the tool rotates keeping such a condition and the whipping phenomenon of the tool does not occur. The tool head rotates keeping a constant angle to the direction of the desired axis (see Fig. 6). When the tool holder is fed by a small amount along the desired axis, the tool head moves by the same amount along the inclined axis. That is, a hole deviates along the initial inclination angle i_0 . Therefore, as machining proceeds, the misalignment of the tool head from the desired axis increases. At the same time, the inclination of the tool head also increases due to the increase of the misalignment. As a result, the inclination of the axis of the machined hole increases as machining proceeds.

Next, in case of the existence of each misalignment of the pilot bush and the bar-support, the mechanism of the hole deviation was estimated theoretically, then theoretical values were compared with the experimental values.

(i) In the case of misalignment of a pilot bush

Galloway (6) analysed the path of the tool head under the following condition.

At the beginning of machining, because of the initial deflection of tool point, the tool shank itself bends elastically. Then the tool proceeds along the axis of the shank. At this time, the diametral clearance between the tool and the hole is as large as the drill can bend without restriction of the hole wall, i. e., the drill head is simply supported.

When the pilot bush deviates by δ_B (Fig. 6) and the point of contact with the front end of the workpiece shifts from the desired axis, the analysis of Galloway can be applied to the deep hole drilling tool. It is assumed that the hole is oversized and that the tool head is not restricted by the hole wall even if it inclines. Here, the inclination i_0 of the tool head is given with the thrust P as a parameter by

$$i_0 = \frac{\delta_B}{L} \left\{ \frac{3}{2} + \frac{1}{40}(kL)^2 + \frac{1}{8400}(kL)^4 \right\} \quad (1)$$

$$k = \frac{4.493}{L} \sqrt{\frac{P}{P_c}}$$

where P is the thrust and P_c the buckling load. When kL is small (in fact, when the L/D ratio is about 30, it becomes very small), i_0 is given by

$$i_0 = \frac{3}{2L} \delta_B \quad (2)$$

If the tool head proceeds toward the direction of its inclination and keeps to be under a simply supported condition, then the hole deviation at a depth of Z_n can be written as (see Fig. 6)

$$\delta_{hn} = \delta_B e^{3Z_n/2L} \quad (3)$$

However, when the diametral clearance between the machined hole and the tool head is small (in fact, undersized hole is often observed), the tool head is restricted by the inclined hole wall due to a small amount of the back taper of the periphery of the tool head. In this case, the analysis of Galloway can not be applied, because the tool head is not supported simply. The tool head moves along the drilled hole in case the rigidity of the tool shank is weak. That is, the tool head advances keeping the inclination of the hole near the hole entrance. The hole deviation δ'_{hn} at a depth of Z_n is written as

$$\delta'_{hn} = \frac{3}{2L} \delta_B \cdot Z_n + \delta_B \quad (4)$$

That is, when the pilot bush is misaligned, hole deviation with the tool head restricted by the hole wall is less than that without tool head restriction. This means that the increase of length of both margin and guide pad and the reduction of the value of back-taper contribute to the decrease of the hole deviation. When the condition of restriction is not perfect, hole deviation should become an average of the values obtained by both Eqs. (3) and (4).

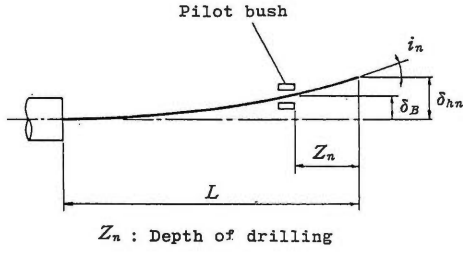


Fig. 6 Inclination and deviation of tool head caused by deviated bush

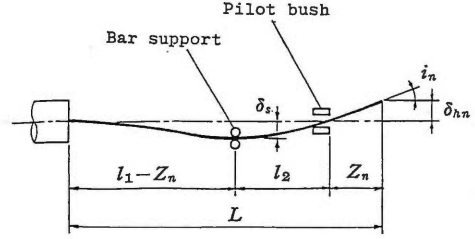


Fig. 7 Tool-bend caused by the deviated bar support

The theoretical values of both Eqs. (3) and (4) are depicted in Fig. 4. Here, machined holes are undersized by $-5 \mu\text{m}$. Their angles of inclination are approximately equal to the values obtained by Eq. 4.

(ii) In case where the misalignment of the bar-support exists

When the misalignment of the bar-support is δ_s , the tool shank bends and the tool head inclines as shown in Fig. 7. If the attitude of the boring bar is assumed to be such that one end of boring bar is fixed at the tool holder, that the other end (top of the tool head) is supported simply and that the middle part is supported simply, then the inclination i_n of the tool head at a depth of Z_n during drilling can be obtained with the deviations δ_s and δ_{hn} as parameters by the expression

$$i_n = \frac{1}{2A} \left[\frac{\{2L^2(\ell_1 - Z_n) - A\}(3A\delta_{hn} + 6\delta_s L^3)}{(\ell_1 - Z_n) \left\{ 2L^3 - \left(1 + \frac{3(\ell_2 + Z_n)}{2(\ell_1 - Z_n)} \right) A \right\}} - 6\delta_s L^2 \right] \quad (5)$$

$$A = 2L^3 - 3L^2(\ell_2 + Z_n) + (\ell_2 + Z_n)^3$$

where L is the length of the shank, ℓ_1 the distance between the tool-holder and the support at the beginning of drilling, ℓ_2 is the distance between the bush and the bar-support, δ_s the deviation of the bar-support and δ_{hn} the deviation of the tool head at a depth of Z_n .

When the deviation δ_s of the bar-support and the initial value δ_{h0} of the tool head, i. e., bush deviation are given, the locus of movement of the tool head, i. e., hole deviation is determined by

$$\delta_{hn} = \delta_{hn-1} + i_{n-1} \Delta Z \quad (6)$$

where, Z is a small increment of tool movement.

When an undersized hole is produced and the tool head is restricted by the hole wall, the locus of the tool head is given by

$$\delta_{hn}' = i_0 Z_n \quad (7)$$

Here, i_0 is the value at a depth of $Z_n = 0$.

The experimental result was obtained using a tool with short length guide pads (Fig. 5). The hole deviations were approximately equal to the values estimated by Eq. (6), because holes were oversized. The deviations curved back a little.

5.2 The difference between the hole deviation in the rotating tool system and that in the rotating workpiece system

It is known that the hole deviation in machining with the rotating workpiece system is less than that with the rotating tool system. But the mechanism of the hole deviation is not clarified. Hence, the influences of the alignments on the hole deviations in both machining systems are compared and discussed.

Suppose that the tool-axis inclines to the workpiece-axis (Fig. 8). When a hole deviates from the desired axis, the tool head should keep an inclined attitude with respect to the desired axis. Since the

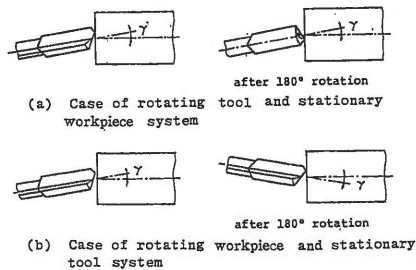


Fig. 8 Condition for hole deviation from the setting axis (Workpiece reference system)

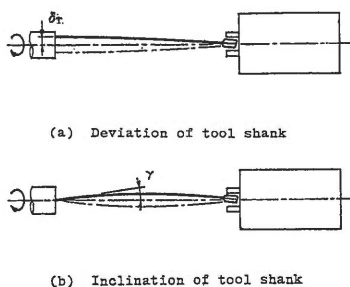
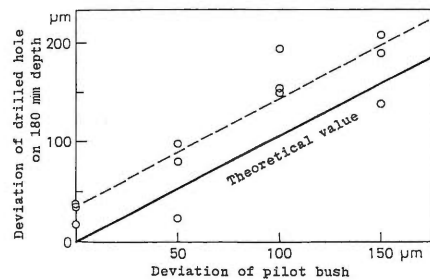
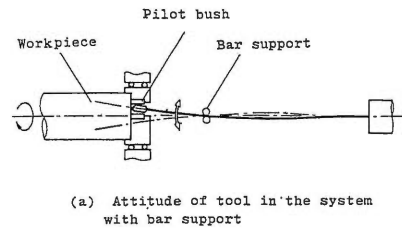


Fig. 10 Misalignment of tool



Tool : 20 mm dia. BTA tool, Work material : S35C, Spindle speed : 1600 rpm, Feed : 0.06 mm/rev.

(b) Deviation of drilled hole versus deviation of pilot bush

Fig. 9 Influence of pilot bush deviation on hole deviation with rotating workpiece system

workpiece is stationary in the rotating tool system (see Fig. 8(a)), the tool is forced to incline towards one direction. In the rotating workpiece system, the tool needs to revolve keeping the inclination to the workpiece-axis (Fig. 8(b)).

Here, the influence of misalignment on the hole deviation is discussed. Firstly, in the case of the existence of misalignment of the bar-support (Fig. 5), the tool head can maintain its inclination to the workpiece-axis in the rotating tool system. But in the rotating workpiece system, the direction of misalignment of the bar-support changes with the rotation of the workpiece. In other words, the direction of the tool-movement cannot be determined. Therefore, the tool advances along the workpiece-axis, whipping around the workpiece-axis with the inclination which is caused by the deviation of the bar-support.

Fig. 9 shows the hole deviation in the case where the rotation axis of the workpiece does not coincide with the axis of the bush hole in the rotating workpiece system. Generally, the pilot bush is pressed against the workpiece in deep hole drilling. It rotates in the rotating workpiece system and is nearly stationary fixed in the rotating tool system.

Even if the axes of tool-rotation, bush-rotation and tool-holder align, the tool touches the front end of the workpiece with the inclination to the desired axis if the eccentricity of bush hole exists. And the bush rotates contacting the workpiece with the same speed of rotation as that of the workpiece. Hence, the tool keeps the direction of both initial inclination and deviation on the workpiece reference system. And the theories (Eqs. (3) and (4)) about the hole deviation in the rotating tool system can be applied to those in the rotating workpiece system.

5.3 The influence of misalignment of each part on the hole deviation

From the above mentioned theoretical and experimental points of view, the followings are discussed regarding influence of the misalignment of each part on the hole deviation.

Firstly, if the axis of the bush hole in the rotating tool system inclines to or deviates from the spindle axis (from the rotation axis of the pilot bush in the rotating workpiece system), i. e., if the inclination and deviation of the tool head which is guided by a pilot bush keeps an unchangeable direction on the workpiece reference system, then the hole deviates from the desired axis.

Secondly, if the axis of the tool revolution coincides with the desired axis in the rotating tool system, then deviation and inclination of the tool at the position of the tool-holder never result in hole deviation, because deviation and inclination of the tool axis are changeable on the workpiece reference system (Fig. 10). The misalignment of the bar-support causes the hole deviation in the rotating tool system.

As mentioned above, misalignment of each part of the machining system causes little hole deviation in the rotating workpiece system. Only eccentricity of bush hole causes the hole to deviate slightly. This is the reason why the hole deviation in the rotating workpiece system is less than that in the rotating tool system.

6. Conclusions

The influence of misalignment among a spindle, a tool, pilot bush and bar-support on hole deviation was examined experimentally and theoretically. The results were as following.

- (1) A hole deviates towards the direction of the inclination of the tool head, apart from the desired axis, on both the workpiece and tool reference systems, if the tool head keeps its attitude caused by the misalignment on the workpiece reference system.
- (2) If in the rotating tool system, the pilot bush or the bar-support is misaligned and the bar bends, then the hole deviates toward the direction of the inclination of the tool head. If the inclination changes during drilling, the hole deviates towards the direction of the changed inclination.
- (3) The state of the hole deviation varies theoretically with the restrictive condition of the tool head due to the hole wall. It is related to hole oversize.
- (4) In the rotating workpiece system, the inclination of the tool head, due to misalignment, does not cause hole deviation, if the direction of the inclination changes on the workpiece reference system.
- (5) Even in the workpiece rotating system, hole deviation cannot be corrected when machining starts from a deviated point.
- (6) Both deviation and inclination of the tool at the position of a tool-holder is not directly related with hole deviation.

References

- 1) K. Sakuma, K. Taguchi, A. Katsuki: Study on Deep Hole Boring (BTA System Solid Boring Tool)—The Property of Cutting Forces and the Effect of Guide-pad Location on it—, Japan Soc. Prec. Engg. (in Japanese), 44, 9 (1978) 1111.
- 2) K. Sakuma, K. Taguchi, A. Katsuki: Study on Deep-Hole-Drilling with Solid Boring Tool—The Bur-nishing Action of Guide Pads and their Influence on Hole Accuracies—, Bull. Japan Soc. Mec. Engrs., 23, 185 (1980–11) 1921.
- 3) K. Sakuma, K. Taguchi, A. Katsuki: Study on Deep-hole Boring by BTA System Solid Boring Tool—The Effects of Shapes of Guide pads on Hole-accuracy—, Japan Soc. Prec. Engg. (in Japanese), 46, 8 (1980) 1009.
- 4) K. Nakamura and et al: A handbook for drilling, The Society of Cutting Oil Engineering (in Japanese) (1979) 336.
- 5) B. J. Griffiths: Axial Hole Runout during Deep Drilling (Self Piloting Drilling), Proc. 2nd Int. Conf. Deep Hole Drilling and Boring, (1977) 1.
- 6) D. F. Galloway: Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance, Trans. ASME, 79, (1957) 191. 1

Axial Hole Deviation in Deep Drilling (2nd Report)* —Influence of Shape of Workpiece—

Koichi TAGUCHI**, Akio KATSUKI*** and Keizo SAKUMA[†]

The influence of the shape of the workpiece on the hole deviation is studied in various types of deep hole drilling. In particular the effect of unsymmetric thickness of the hole wall, inclination of the front work-face and eccentricity of the prebored-hole are discussed. When a workpiece with an eccentric prebored-hole is drilled, the machined hole deviates towards the direction of the vector of maximum cutting force. This phenomenon is due to the fact that the hole wall deforms plastically by the guide pad which supports the cutting force. When the drill cuts near the side work-faces, the hole curves toward the thinner hole wall. This phenomenon results from the elastic deformation of the hole wall. And when drilling starts at an inclined front work-face, the hole deviates out at the work-face toward the direction of the slope. Such a deviation tends to increase with the increase of cutting depth. The theoretical values of such hole deviation are in good agreement with the experimental ones. Further, it is shown that subsidiary factors, e.g., tool geometry, pilot bush, cutting conditions and work material, etc., also cause deviation of the machined hole.

Key words: deep drilling, hole accuracy, axial hole deviation, hole deviation forming mechanism, workpiece geometry, thinner hole wall, eccentric prebored-hole

1. Introduction

In the previous paper¹⁾, the influence of the misalignment of machine-setup on hole deviation was discussed and the following points were clarified theoretically and experimentally. Misalignment of the pilot bush or middle support makes the tool head inclined to the desired axis. As a result, the hole is drilled towards the direction of the inclination of the tool head in the case of rotating tool and stationary workpiece system. If the hole deviates, the inclination of the tool head increases and as a result, the hole deviates much more. On the other hand, in the case of rotating workpiece and stationary tool system, the direction of the tool inclination varies during one rotation of the workpiece on the workpiece reference system. Therefore, the influence of the misalignment on the hole deviation for workpiece is less.

The hole also deviates in drilling the workpieces with an unsymmetric thickness of hole wall and with an inclined front work-face. In the present paper, the influences of such workpieces on the hole deviation are discussed and the mechanisms for formation of the hole deviation are clarified. Further, such indirect factors, as pilot-bush clearance and tool shape are also discussed with regard to their influence on the hole deviation.

2. Experimental procedure

The hole deviation is caused by a workpiece, whose shape is unsymmetric with respect to the hole axis. In this experiment, three types of unsymmetric workpieces were used to examine their influences on the

*Received 18th September, 1994.

** Ariake National College of Technology: 150, Higashihagio-machi, Omuta, 836 Japan

*** Faculty of Engineering, Kyushu University: 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812 Japan

[†]3-4-5, Hatta, Higashi-ku, Fukuoka, 813 Japan

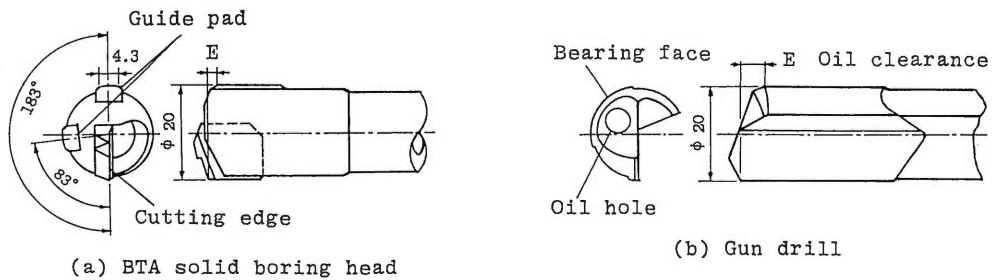


Fig. 1 Geometry of deephole drilling tools

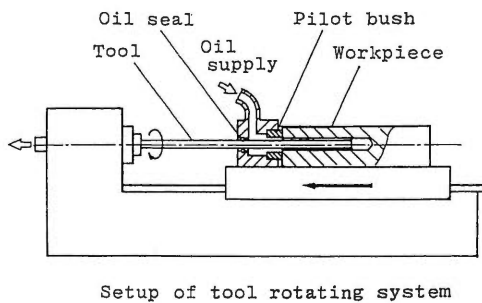


Fig. 2 BTA system deep hole drilling machine

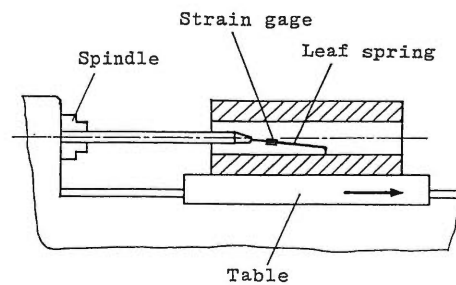


Fig. 3 Measuring device of hole accuracy

hole deviation. The first one has an eccentric prebored hole which makes the cutting width vary during rotation. The second one has an inclined front work-face which makes the tool head shift at the beginning of cutting. In these two cases, the magnitude of the cutting forces varies during one rotation. The third one has a thin hole wall on one side of the hole after drilling. The thin wall is deformed elastically by the guide pads counterbalancing the cutting forces during drilling. The mechanisms of the hole deviation are discussed later.

In this experiment, a BTA system solid boring tool (20 mm dia.) and gundrills (20 mm dia. and 10 mm dia.) were used. The experiments were performed with the rotating tool and stationary workpiece system. Tool geometry and setup are shown in Figs. 1 and 2, respectively.

Figure 3 shows the measuring device of hole deviation. The leaf spring is fixed on one end of the measuring bar. The displacement of the stylus is picked up by the strain gage bonded on the leaf spring. The workpiece is fed with the table longitudinally.

3. Experimental results and discussions

3.1 The influence of the eccentricity of prebored-hole

When the workpiece with an eccentric prebored hole is bored, the vector of cutting force acting on a cutting edge varies on the workpiece reference system. A machined hole deviates due to the variation of cutting force, i.e., the tool head shifts from the desired axis under the condition that the guide pad shifts by the normal force act-

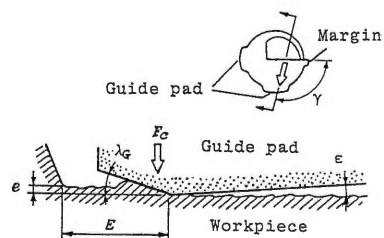


Fig. 4 Burnishing action by guide pad

ing on it. The authors²⁾ already reported that the bored hole was oversized when the compressive force acting on the chamfer part of the guide pad was large. Figure 4 shows that the chamfer part penetrates into the hole wall by means of the wedge effect and forms a ridge in front of it. The ridge is cut with every rotation of the cutting edge. The depth e of the indentation is approximately written as

$$e = \frac{F_c \cdot \tan \lambda_G}{w \cdot H_B} \quad (1)$$

where F_c is the normal force, w width of guide pad, λ_G chamfer angle and H_B Brinell hardness.

The direction λ of the cutting force corresponding to the tool geometry is between 90° and 180° clockwise from the cutting edge. Therefore the guide pad is set on the circumferential region between 80° and 185° ³⁾. In machining the workpiece with an eccentric prebored-hole, the directions of the maximum and minimum cutting forces are unvaried on the workpiece reference system (Fig. 5), if the cutting force is proportional to the cutting width. The directions of these cutting forces are not the same as that of the deviation of the prebored hole. The value of λ is obtained by the analysis of the cutting forces obtained by an experiment⁴⁾, and is 108° . Figure 5 shows the absolute values and directions of hole deviations at a depth of 200 mm when the workpieces with an eccentric prebored hole (15 mm dia., amount of shift: e_h 1 mm) are machined by a gundrill (20 mm dia.). When the workpiece was bored in the rotating tool and stationary workpiece system, the direction of the amount of shift e_h of an eccentric prebored-hole was changed towards both $+x$ and $-x$ to exclude the unexpected causes of the hole deviation. The direction λ'_A of the hole deviation is about 110° and corresponds well to that of the maximum cutting force in the coordinates (x' , y'); the origin is the middle point between two deviations in machining the workpieces with the eccentric prebored-holes toward $+x$ and $-x$. That tendency can also be seen in the rotating workpiece and stationary tool system and the value of the deviation is almost the same as that in the rotating tool and stationary workpiece system. The value of the eccentricity of the prebored hole is 1 mm

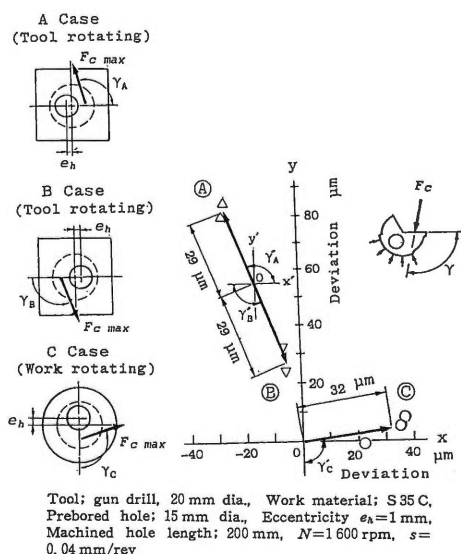


Fig. 5 Influence of eccentricity of prebored hole on deviation of machined hole

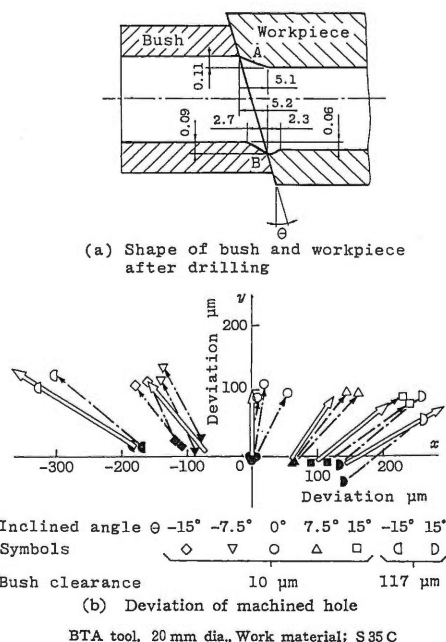


Fig. 6 Influence of inclination of work-face on hole deviation

toward $+y$ in the workpiece reference system. These experiments show that the hole deviation occurs in both machining systems when workpieces with an eccentric prebored hole are bored.

On the other hand, the value of the hole deviation in machining with a BTA tool was less than that in machining with a gundrill. Because the chamfer angle λ_G of the BTA tool is designed near 10° , but that of a gundrill is almost 45° . Taking the condition of Eq. (1), the amount of shift e of guide pad is less; the hole deviation is also small.

3.2 The influence of an inclination of front work-face

When the front work-face is not perpendicular to the machining axis, intermittent cutting is done at the beginning of cutting as one side of the work-face is cut and the other one is not. To examine the influence of the inclination of the work-face on hole deviation, workpieces with the work-face inclined at various angles θ were drilled with the direction of inclination being on both sides $+x$ and $-x$. Pilot bushes with the same inclination angle as the work-face were prepared for the experiment.

Figure 6(a) shows the shape of the pilot bush and workpiece after drilling. It is clear that the hole deviates from the pilot-bush axis at the work-face. The mechanism of machining is presumed to be the following. During the intermittent cutting of the inclined work-face, elastic displacement between the pilot bush holder and workpiece carriage occurs towards the direction on which the uncut hole wall remains, because the second guide pad supports the radial cutting force. Area A is an uncut hole wall. Area B of the pilot bush was cut by the corner of the cutting edge, when the second guide pad ran over the uncut area A with the tool head inclined, after a half rotation of the tool head. As this cutting continues, with every rotation the hole deviates toward the inclination of the work-face at the beginning of cutting. After the guide pads have entered the hole, cutting forces are supported by the hole wall and the relative displacement between the pilot bush and the workpiece disappears. However, the tool head advances toward the direction of its inclination due to the displacement occurred at the beginning of boring, because the rigidity of the boring bar is weak.

Figure 6(b) shows the shift of the entrance of the machined hole and the direction of hole deviation in the x - y coordinates whose origin is the average center of the hole entrances in such a case when workpieces of angle θ ($=0^\circ$) work-face inclination are bored. The directions of the slope of the work-face are changed toward $\pm x$ directions. In this experiment, the hole deviations toward $+y$ due to an unidentified factor occurred as shown in the results of $\theta = 0^\circ$ (Fig. 6 (b)). Therefore the discussion about the hole deviation

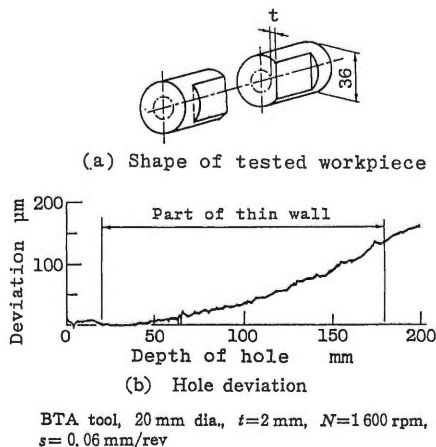


Fig. 7 Influence of thickness of hole wall on hole deviation

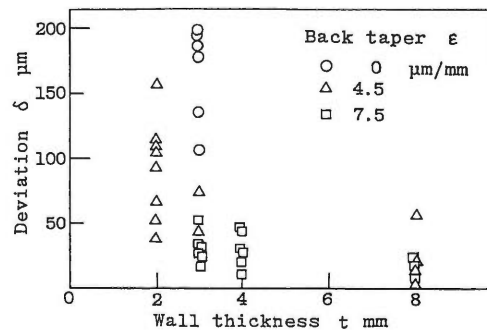


Fig. 8 Influence of tool back taper and thickness of the hole wall

should be focused on x direction. As shown in Fig. 6 (b), the holes deviate towards the same direction as the inclination of the work-face. Further, as the inclination angle θ becomes larger, the amount of shift of the hole entrances and hole deviations are larger.

As the tool is supposed to be such a elastic beam that one end is fixed and the other end is simply supported¹⁾, the theoretical hole deviation in δ_{hx} direction at a depth of Z_n is written as

$$\delta_{hx} = \left(1 + \frac{3z_n}{2L}\right) \delta_0 \quad (2)$$

where δ_0 is the deviation at the entrance of the hole.

Figure 6 (b) shows the theoretical values at a depth of Z_n ($= 200$ mm) by the arrows and they correspond to the experimental values. The theoretical value of the deviation toward the $+y$ direction is the average of the experimental values in each inclined angle. Therefore, it is concluded that the hole deviation is mainly caused by the shift of the tool head at the work-face. If the bush clearance is large, the deviation of hole at the beginning of drilling becomes also large. And the condition of the hole deviation is almost the same as that in the inclination of the work-face.

3.3 The influence of a thin hole wall

To examine the hole deviation in machining thin-wall workpieces, workpieces with various thickness t of hole wall were prepared, whose thickness t was made to become thin from a depth of 20 mm. Tool with various back taper ratios were prepared. When a thin hole wall is machined, the hole is firstly drilled along the desired axis at the beginning and then deviates toward the thin hole wall gradually (Fig. 7 (b)). The relationship between the hole deviation δ at a depth of 200 mm, the thickness t of the hole wall and the back taper ε is shown in Fig. 8. As t and ε become smaller, the hole deviation δ becomes larger. Figure 9 shows the result in a case where three types of workpieces were drilled by a gundrill (10 mm dia.). Hole deviations vary according to the types of the work-materials. The mechanism of hole deviation in the thin-wall workpiece is discussed in the following.

When the cutting edge cuts the thick hole wall in A of Fig. 10 (a), the thin hole wall slightly bulges by e_1 elastically due to the action of the second guide pad supporting the radial force. Therefore, the uncut

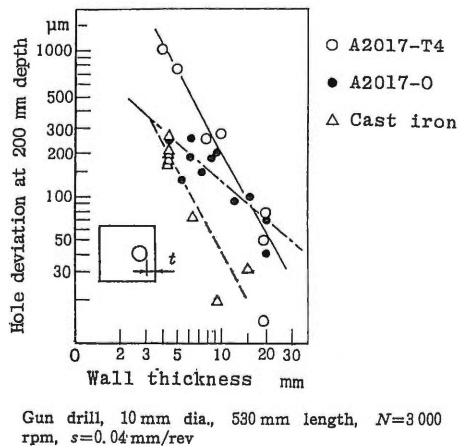
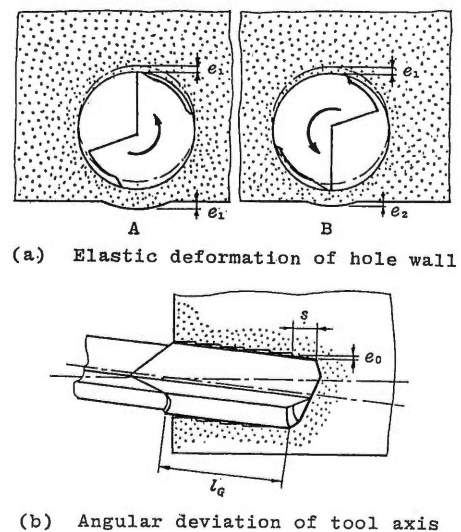


Fig. 9 Comparison of work materials on hole deviation



(b) Angular deviation of tool axis

Fig. 10 Mechanism of hole deviation

area appears on the side of the thick hole wall. When the cutting edge comes to the thin hole wall (Fig. 10 (a) B), the second guide pad runs over the uncut area. As a result, the cutting edge moves towards the thin hole wall. In this condition, the radial force directs toward the direction of thick hole wall and also the contacting pressure acting on the outer margin is small. Therefore the amount of the elastic deformation on a thick wall is small. The thick wall deforms by e_2 elastically. At the same time, it overcuts the part of the thin hole wall by $(e_1 - e_2)$. If such a cutting mode repeats every rotation, the hole deviates toward the thin hole wall.

Now, the locus of movement of the tool head is estimated (Fig. 10 (b)). When the hole deviates from the desired axis, the tool head inclines¹⁾. In this case, suppose that the top of the tool head is simply supported.

The inclination of the tool head is written as

$$i = \frac{3}{2L} \delta \quad (3)$$

where δ is the deviation of the top of the tool head. If feed rate is expressed by s , the hole deviation δ_n at a depth of Z_n (after n rotations) is given by

$$\begin{aligned} \delta_n &= (i_{n-1} \cdot s + \delta_{n-1}) + e_0 \\ &= \frac{\{(1+k)^n - 1\}}{k} \cdot e_0 \end{aligned} \quad (4)$$

where $k = 3s/(2L)$. Fig. 11 shows the hole deviation in machining the workpieces with a thin hole wall on one side. By substituting the experimental hole deviation $\delta_{200/s} (= 1020 \mu\text{m})$ at a depth of 200 mm into Eq. (4), e_0 is estimated by approximately $0.158 \mu\text{m}$. Here e_0 is the displacement of the tool head in one rotation of a tool and equal to $(e_1 - e_2)$. The calculated value is shown by the dotted line A, but it differs from the experimental value near the middle of the hole depth. Particularly, near the entrance of the hole, the tendency of hole deviation is different. Therefore, e_0 is presumed to be smaller.

Hence, another mechanism about the tool inclination is presumed. When the hole diameter is equal to or smaller than the tool diameter, the guide pads are restricted by the hole wall and incline along the inclination of the hole wall. If the inclination of the tool head is equal to the average value of the hole inclination varying from the bottom of the hole to ℓ_G , i and δ_n can be given by the expression

$$i_n = \frac{n(n-m/2)}{s} \cdot e_0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \delta_n &= e_0 + i_{n-1} \cdot s + e_{n-1} \\ &= e_0 \{n(n+1) - m\} / 2 \end{aligned} \quad (6)$$

Here, $m = \ell_G/s$ and ℓ_G is the length of the guide pad.

The hole deviation calculated by Eq. (6) is shown by the continuous line B in Fig. 11 and corresponds well to the experimental result. In this case, $e_0 = 0.85 \times 10^{-4} \mu\text{m}$. This value is much smaller than that calculated by Eq. (4). In the latter mechanism, therefore the hole deviation becomes bigger even if e_0 is very small. When the thickness t of the hole wall is smaller, the hole deviation becomes larger, because e_0 becomes larger due to large elastic deformation of the hole wall. When the magnitude of back taper is large and the hole is oversized, the top of the tool head is simply supported. Therefore Eq. (4) can be applied and

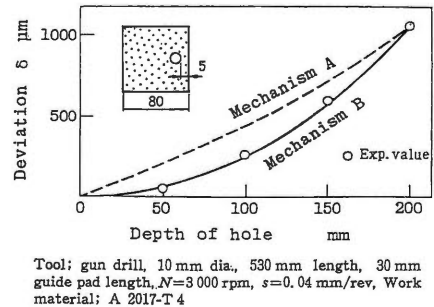


Fig. 11 Influence of wall thickness on hole deviation

the hole deviation becomes small. On the other hand, when the magnitude of back taper is small and the hole diameter is equal to or smaller than the tool diameter, the tool head is restricted by the hole wall and its inclination approaches that of the machined hole. In this case, a hole deviates following the large curve calculated by Eq. (6). Generally the hole deviation is presumed reversely to be small when the magnitude of back taper is small. The present result therefore is very interesting.

4. The subsidiary factors which influence the hole deviation (promotive factors)

The hole deviation is caused by the main factors stated above. Here, subsidiary factors are discussed, which promote or inhibit the influence of the main factors on the hole deviation.

4.1 Factors concerning the machining system (Clearance of pilot bush, etc.)

Even if the bush clearance is large, it does not always cause an inclination of the tool head. However, in a situation where the pilot-bush clearance is small and the pilot bush has already shifted parallel to the desired axis, it is presumed that the pilot bush restricts the inclination of the tool head and keeps it parallel to the desired axis (Fig. 12). In this condition, when tool back taper as well as bush clearance are smaller, and also when bush length and tool head length are larger, the restriction of the inclination of the tool head becomes larger. On the other hand, if the hole axis of the pilot bush already inclines, the diametral clearance between the tool head and the pilot-bush hole must be large so that the tool head does not move along the inclined pilot bush.

The middle support prevents the V-shape slender shank of a gundrill from whipping due to the centrifugal force, buckling by thrust and vibrating. As the whipping does not cause the hole deviation, the restriction by the middle support should be weakened to prevent from hole deviation. When an oil seal with clearance was used, the influence of inclination of the tool head on hole deviation was small in this experiment.

4.2 Factors concerning the tool

Factors concerning a tool itself do not act with an unchangeable direction in a workpiece reference system, because of the relative motion between the tool and the workpiece. Therefore they have no affect directly on hole deviation. In terms of guide pad, factors which affect indirectly hole deviation are cutting force, width of guide pad, magnitude

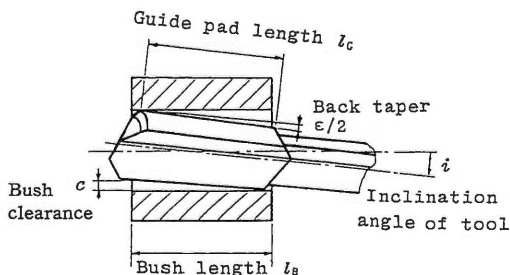


Fig. 12 Restriction of tool inclination by guide bush

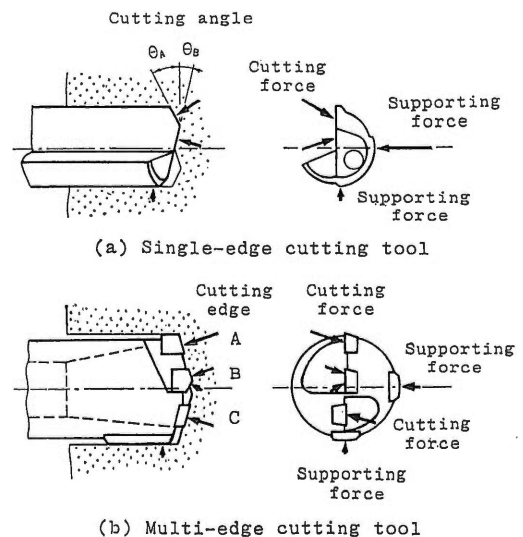


Fig. 13 Balancing of forces in deep hole drilling tool

of back taper and the shape of chamfer of the guide pad. They are related with the amount of tool shift caused by the pressure acting on the guide pad (Fig. 4 and Eq. (1)), which varies according to the magnitude of the cutting force. In the case of the machining of a thin-wall workpiece, it is effective to design to shift the guide pads forward on the tool head, i.e., to reduce oil-clearance E in Fig. 1. By the shifting, the elastic deformation of the thin hole wall decreases for the reason that the supporting point (the location of the leading edge of guide pad) of a canti-lever approaches to a fixed point (bottom of the hole).

In terms of cutting edge, the following points are described.

In case of the machining of a thin hole wall workpiece (Fig. 10 (a)), the amount of shift of outer corner of the cutting edge toward the thin hole wall is strongly connected with the magnitude of contact pressure of the second guide pad located at 180° from the cutting edge. If the radial force produced by the cutting edge is small, the hole deviation is also small. Therefore, if the cutting edge is designed such that radial forces are balanced by arranging the outer cutting angle (θ_A) and inner cutting angle (θ_B) (Fig. 13 (a)), hole deviation becomes less. However, in the case of the machining a workpiece with an eccentric prebored-hole, the main cutting force influences the hole deviation. To reduce the supporting force of the guide pad, it is very effective that the cutting edge is designed to be divided into some parts and arranged such that the main cutting forces acting on each part cancel each other out (e.g. multi-cutting-edged tool shown in Fig. 13 (b)).

4.3 Workpiece and cutting conditions

In the machining a thin hole wall workpiece, the hole deviation is caused by elastic deformation of the thin hole wall. Therefore, the elastic modulus of the material relates to the deviation of the hole wall.

In machining a workpiece with an eccentric prebored-hole and nonhomogenous material, the hole deviation is caused by plastic deformation of the hole wall by the guide pad supporting the cutting forces (Fig. (4) and Eq. (1)). Therefore, it is influenced by the hardness of work material and the magnitude of the specific cutting force of material.

The increase of feed rate leads to the decrease of the number n of tool rotations at the same hole depth. However, if the feed rate is proportional to the cutting force and the hole deviation varies according to Eq. (6) in a thin hole wall workpiece, the hole deviation is not related to the feed rate. If the ratio of hole depth to diameter becomes very large, the deflection of the tool shank by thrust is negligible.

5. Conclusions

From the above mentioned experiments and discussions, the mechanism of hole deviation, in a case where a workpiece of unsymmetric shape is drilled by a single edge tool with a guide pad, can be classified into the following two cases.

- a) A part of the hole wall deforms elastically by the contact action of a guide pad.
- b) A part of the hole wall deforms plastically by the contact action of a guide pad.

Case (a) occurs when a thin hole wall workpiece is drilled. Hole deviation occurs due to the elastic deformation of thin hole wall by the guide pad. The hole deviation is caused without a variation of cutting force.

Case (b) occurs when workpieces with an eccentric prebored-hole and those with an inclined work-face are cut. Hole deviation occurs due to indentation of the guide pad into the hole wall caused by its wedge effect.

In addition, the bush clearance and length, the condition of a middle support, the shape of the cutting edge, width of the guide pad, the elastic modulus of the work material and feed rate are subsidiary causes, which promote or restrict the hole deviation.

References

- 1) K. Sakuma, K. Taguchi, A. Katsuki: Axial Hole Deviation in Deep Drilling (1st Report)–Influence of misalignments in Drilling System–, Bull. Japan Soc. Prec. Engg.,
- 2) K. Sakuma, K. Taguchi, A. Katsuki: Study on Deep-Hole-Drilling with Solid Boring Tool–The Burnishing Action of Guide Pads and their Influence on Hole Accuracies–, Bull. Japan Soc. Mec. Engrs., 23, 185 (1980-11) 1921.
- 3) K. Sakuma, K. Taguchi: Basic Study of Gun Drilling (1st Report)– Cutting Forces and their Distributions along Cutting Lips–, Japan Soc. Prec. Engg. (in Japanese), 34, 10 (1968) 660.
- 4) K. Sakuma, K. Taguchi, A. Katsuki: Study on Deep Hole Boring (BTA System Solid Boring Tool)–The Property of Cutting Forces and the Effect of Guide-pad Location on it–, Japan Soc. Prec. Engg. (in Japanese), 44, 6 (1978) 672. 1

表計算ソフトによる過渡現象教育

河野 晋・石丸 智士・辻 一夫

〈平成 7 年 9 月 19 日受理〉

On the Education of Transient Phenomena using Spread Sheet

It is difficult for many students to image the transient phenomena. In this paper, an attempt to help their understanding is described. Using a spread sheet and graphical tools, the change of the current waveform due to the RLC-circuit parameters can be easily checked. It is useful for most students to get the images of the transient phenomena.

Susumu KOHNO, Satoshi ISHIMARU and Kazuo TUJI

1. はじめに

電気回路学における過渡現象論は制御理論や計測理論を学習する上で根本となる基本的な内容であるとともに、これに類似する物理現象も多く認められ、他の分野においても広く応用されている。一般的に過渡現象論に関する教育は微分方程式の解法に基づいて行われているが、解析的に求められる解と実際の物理現象との結びつきを初学者に分かりやすく教育することは難しい。

過渡現象に関する教育における上述の問題にたいする一つの試みとして、表計算ソフトウェアを利用し、その教育効果について検討を行った。

2. 過渡現象論

電気回路における基本的な過渡現象として図 1 に示す RLC 直列回路がある。この問題は教科書の例題として載っているものである。

この回路における回路方程式は次のようになる。

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = E \quad (1)$$

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ より}$$

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E \quad (2)$$

式②の微分方程式を解くと、 R 、 L 、 C の値に応じて次の 3 つに場合分けされた解が求まる。

(I) $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ とき、減衰振動となり、

$$i = \frac{E}{\sqrt{\frac{L}{C} - \frac{R^2}{4}}} e^{-\alpha t} \sin \omega t$$

(II) $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ とき、臨界制動となり、

$$i = CE\alpha^2 te^{-\alpha t}$$

(III) $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ とき、過制動となり、

$$i = \frac{E}{\sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - \frac{L}{C}}} e^{-\alpha t} \sinh \beta t$$

ただし、

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2},$$

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

以上のように、微分方程式を解くことで電流の式を求めることができる。また、そのときの電流波形は図 2 のようになる。しかし、得られた電流の式から図 2 に示すような波形のイメージをつかめない学生がかなりいるようである。

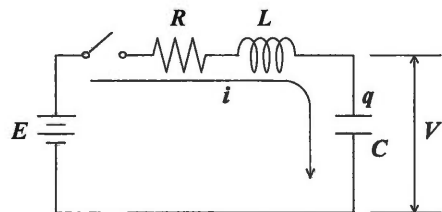


図 1 RLC 直列回路

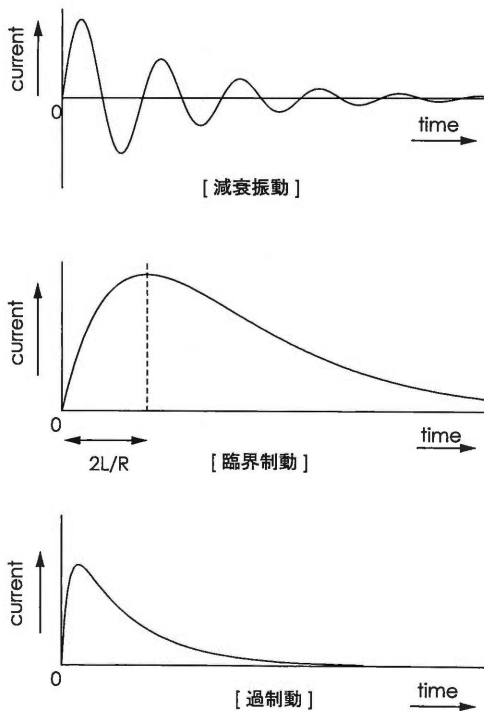


図2 電流波形

3. 表計算ソフトによるシミュレーション

微分方程式による現象を計算機上でシミュレーションするときには数値解析技法がある。今回、そのうちの1つである差分法を用いた。差分法を選んだ理由として、差分法そのものが比較的理解しやすいことと表計算ソフトへの適用が容易であることがある。

式①の回路方程式は、コンデンサ両端の電圧を V とおくと次のようになる。

$$\frac{di}{dt} = (E - Ri - V)/L \quad (2)$$

$$\text{また, } V = \frac{1}{C} \int i dt \text{ より}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{i}{C} \quad (3)$$

ここで、差分法を用いると式②、③は次のように表される。

$$\frac{I_n - I_{n-1}}{\Delta T} = (E - RI_{n-1} - V_{n-1})/L \quad (4)$$

$$\frac{V_n - V_{n-1}}{\Delta T} = \frac{I_{n-1}}{C} \quad (5)$$

図3 計算結果

式④、⑤は次のような漸次式になる。

$$I_n = I_{n-1} + \Delta T \times (E - RI_{n-1} - V_{n-1})/L \quad (4')$$

$$V_n = V_{n-1} + \Delta T \times I_{n-1}/C \quad (5')$$

式②、③の微分方程式を式④'、⑤'のように変形することで表計算ソフトで取り扱えるようになる。今回使用した表計算ソフトは Macintosh 用の統合ソフト「クラリワークス」である。

式④'、⑤'による計算結果の一例を図3に示す。

得られた計算結果は付属のグラフツールを用いてグラフ化する。

4. 教育的効果

図4は R , L , C の値を変化させたときのシミュレーション波形の例である。 R , L , C の値及び初期値は表の左上のセルに直接入力することができ、その都度再計算されるようになっている。パラメータの変化に応じて減衰振動・臨界制動・過制動の電流波形が得られる。また同じタイプの波形(例では減衰振動)でもピーク値・周期・減衰の速さなどが異なることも即座に分かる。このように、過渡現象が視覚的に捉えられるので現象の理解に役立つものと思われる。また、連続的現象を計算機で扱うための数値解法の基本についての学習にもなる。

5. ま と め

今回、行った表計算による過渡現象のシミュレーションの特徴として、

1. 視覚的補助による過渡現象の理解
2. 表計算ソフトの操作の仕方やデータのグラフ化などの演習
3. 数値解法の基本的な考え方の理解

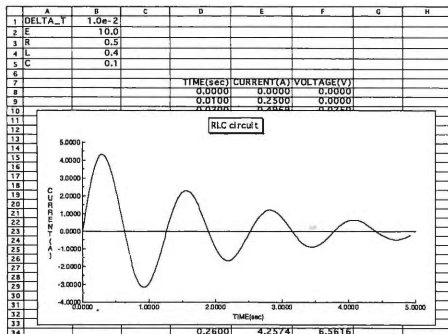


図4-1 電流波形 (減衰振動)

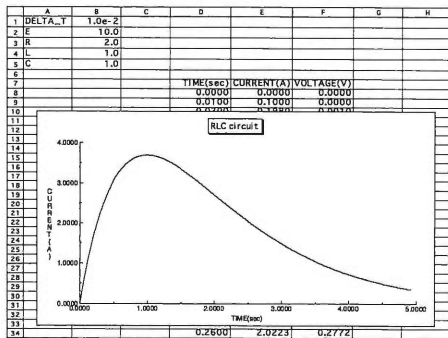


図4-3 電流波形 (臨界制動)

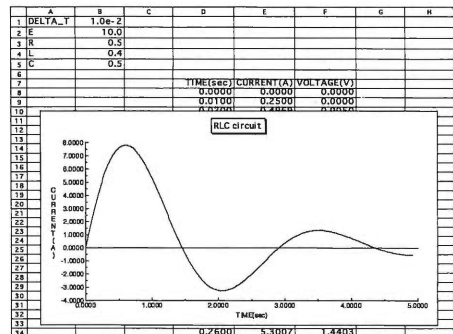


図4-2 電流波形 (減衰振動)

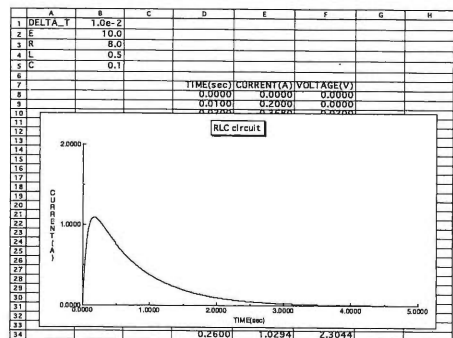


図4-4 電流波形 (過制動)

などが挙げられる。

問題点は、簡単なシミュレーションであるために誤差をかなり含んでいることである。このことに関しては、「数値解析技法と誤差」として理論値と比較・検討するのも良いかと思う。

6. 参考文献

- (1) 羽賀三雄：過渡現象の考え方・解き方，東京電機大学出版局，1992.
- (2) 榊米一郎他：電気回路 (2)，オーム社，1988.
- (3) 岩谷香里：クラリワークスパーフェクトマニュアル，アスキー，1993.
- (4) 青木利夫：応用解析要論，倍風館，1986.

電子情報工学科棟 LAN の IP 接続について

瀬 々 浩 俊・松 野 良 信

〈平成 7 年 10 月 2 日受理〉

The IP connection of LAN in the Department of Electoronics and Information Engineering (E. I. E)

Last April, We have changed the connection between KARRN and LAN in our department to IP-connection from UUCP-connection. The main reason is to make use of the new services but another one is to master the new technology of the network and it's use. In this paper, we described the neccesity of IP connection, the plan and process of the change, the install of new network software and it's use, the result and after plan.

Hirotoishi SESE and Yoshinobu MATSUNO

1. ま え が き

電子情報工学科棟 LAN は平成 3 年 3 月の学科棟完成時に敷設され、実際に LAN の運用を開始したのはその年の 9 月からである。平成 4 年 5 月から九州大学との間に試験的に UUCP 接続を行い、10 月からメールとニュースを運用してきた。また、他学科の先生も校内交換回線を利用して MODEM を介して接続することでメールとニュースを使用している。しかし、UUCP 接続では利用出来ないサービスがあり、早期に IP 接続の実現が望まれた。また、近年インターネットの発展は目覚ましく進歩し、画像を含むメールや情報の検索や発進の容易なサービスが出現し、新たな時代を開きつつある。その代表が WWW である。こうした時代の先端技術を使用するとともに、いずれ校内 LAN の予算がついたときスムーズに LAN を導入し運用する技術を持つておく必要があると判断し、電算機室運営委員会にはかり、平成 7 年度より電算機室費用と電子情報工学科の費用で IP 接続を実施・運用することになった。

その後、平成 7 年度予算で校内 LAN 設備の予算がつくことになり、はからずもタイミングよく技術習得が先行して行えることになった。この 1 年間で習得した導入・運用の技術や利用技術が、LAN 導入後の運用に生かされることになる。

接続の準備は平成 6 年 10 月頃から開始し、平成 7 年 4 月 1 日にまずメールの接続を無事完了した。以後徐々にサービスを拡大している。

以下、UUCP 接続と IP 接続でのサービスの違いと IP 接続の必要性、IP 接続に必要な機器とソフトウエ

アの準備と接続の実施作業、インターネット・アプリケーションソフトのインストール、まだ未実施であるがこれから試行するサービスについて述べる。運用結果や評価はその段階に至っていないので含まれていない。

2. ネットワークサービス

インターネットは接続台数の拡大と新しいサービスの出現で、益々その利用が増加している。現在の推定利用者は全世界で 4000 万人以上といわれ、また、その IP 接続台数は 400 万台以上と言われているがこれも急速に拡大している。接続台数が増加すればそれだけで通信相手が増えて便利になる。

インターネットで利用可能なサービスを表 1 に示す。この中で UUCP 接続でも利用可能なサービスと IP 接続でしか利用出来ないサービスがある。IP 接続では全てのサービスが利用可能であるが、UUCP 接続では利用可能なサービスに大きな制限があることが解るであろう。

UUCP 接続とは 1 日に数回公衆電話回線でダイヤル接続して、MODEM を通じて UUCP 方式で相手コンピュータと情報を交換する接続方式である。専用線による IP 接続では常時相手コンピュータと接続しており、情報の交換はいつでも可能であり、情報を発達すれば短時間に相手に到達する。ダイヤルアップによる IP 接続もあるが、ある頻度以上になれば専用線接続の方が安くなる上に、専用線の方が通信回線の品質が安定している。また、接続時間管理が難しい LAN と外部間の接続には向いていない。(ダイヤルアップ IP 接続は個人でインターネットプロバイダに接続するの

表 1 インターネットサービス

サービス名	利用可能	
	UUCP 接続	IP 接続
(1) 電子メール	○	○
(2) 電子ニュース	○	○
(3) TELNET	×	○
(4) FTP		
FTP	△	○
anonymous FTP	△	○
archie	×	○
(5) CHAT		
IRC	×	○
CU-SeeMe	×	○
(6) WHOIS	×	○
(7) 情報ブラウザ		
WAIS	×	○
Gopher	×	○
WWW	×	○
(8) その他 (Mbone)		
vat	×	○
nv, (ivs, vic)	×	○
wb	×	○

に利用されている。接続時間の管理者は個人であり、接続時間を一定時間以下に管理出来るのでメリットがある。) 以下の説明で IP 接続といったときは専用線 IP 接続のことである。

- (1) 電子メールはネットワークを通じてメールを交換するもので、UUCP 接続と IP 接続のどちらでも利用可能である。しかし、到達時間に大きな差があり、IP 接続であれば即時に送信・受信するが UUCP 接続では間欠接続のため時間がかかる。メールで画像等をおくる MIME も利用可能になって来ているが、当然情報転送量が多くなるので高速回線が必要になってくる。
- (2) ネットニュースはネットワークを通じてニュースを配送するサービスであるが、通常のニュースと異なって、ネットワーク参加者が誰でも情報の発進が可能であることである。UUCP 接続では転送情報量に制限があり、大量データの転送は出来ない。
- (3) FTP はファイルを転送するサービスで、UUCP 接続でも一部利用可能であるが制限される。UUCP 接続ではメールを利用した FTP メールのみ利用可能であるが IP 接続であれば FTP を自由に使用出来る。AnonymousFTP はフリーソフトウェアの配布などに利用されており、相手計算機にユーザ登録されている必要はなく、一般公開されているものである。archie は AnonymousFTP のインデックスを検索するサービスである。
- (4) TELNET は相手計算機に Login してその計算機資源を遠隔利用するサービスであるが、IP 接続でのみ可能である。当然、接続する相手計算機にユーザの登録が必要である。

- (5) Chat はネットワークを使ったおしゃべり、即ち同時複数の会話サービスをするもので、IRC、CU-SeeMe がある。IP 接続でのみ利用可能である。IRC は文字による複数の人のおしゃべりサービスである。

CU-SeeMe は画像付きの複数の人のおしゃべりサービスである。画像情報を送るので高速な回線が必要である。

- (6) WHOIS はネットワーク参加組織、その管理者の情報を得るサービスである。

- (7) 情報ブラウザは情報の所在を探すためのもので、WAIS, Gopher, WWW がある。IP 接続でのみ利用可能である。

WAIS は各所に分散蓄積されたテキスト情報を検索するサービスである。

Gopher はメニュー表示によって必要な情報にたどり着く、キャラクタベース形の情報検索サービスである。

WWW は Gopher と似ているが、テキスト以外に音声、画像、動画などを扱うことが出来る情報検索サービスである。画像情報を送るので高速な回線が必要である。

- (8) その他、電子会議などはリアルタイムで音声と画像を複数の相手に対して送る必要がある。インターネットでは、Mbone として IP マルチキャストの実験基盤のネットワークを編成している。勿論 IP 接続でのみ可能である。大量の情報転送が必要であるため、現状の専用線接続の回線速度 (64, 128kbps 等) では他のサービスの妨げになるので、時間を限って実験的にサービスが行われている。vat は音声を用いたネットワーク会議ツール、vic は映像を用いたネットワーク会議ツール、wb はネットワーク上で共有されたホワイトボードを提供する。

インターネットは電子メールとネットニュースに情報検索 (発信) サービスの発達 (極限すれば WWW) の発達が加わり、その利用が急拡大している。これらのサービスを利用し、研究や教育のみならず、実際に生産・流通などの産業や政治・福祉など社会に活用することが始まっている。我々としては、実際に利用しながら、利用方法、管理・運用技術を習得し、研究や教育に活用し、更にはそうしたソフトウェアの研究・開発・改善に貢献出来ることが望まれる。

3. IP 接 続

IP 接続への変更にあたって以下のことを考慮した。

- (1) 現在運用中の LAN は UUCP 接続であり、ドメイン名は必要なので取得しているが正式の IP アドレスは必要がなかったので取得していない。したがって、正式 IP アドレスを取得して、既設の機器のアドレスの再割り当てをする必要がある。
- (2) サーバは稼働後 4 年経過している。この間にソフトウェアのバージョンアップが行われている。この際、OS やメール・ニュースなどのソフトウェアをバージョンアップしておきたい。
- (3) 実際業務に使用中なので、可能な処理は出来るだけ運転したまま行い、サーバの停止は最小限の時間で新システムへの切り替えを終わらせたい。
- (4) WWW などの新しいサービスを導入するために必要な能力を LAN に付加するためにサーバを 1 台追加する。
- (5) 準備体制もあり、新しいサービスは準備が出来た段階で徐々に増やしてゆきたい。
- (6) 今回は実験的性格もあり、外部からの侵入に対するセキュリティ対策としてファイアウォールなどの特別の処置は特に取らないで、使い勝手を重視してフラットなネットワーク構成とすることにした。ただし、ファイアウォールなどセキュリティソフトも技術習得のために実装してみる。

以上を考慮して、追加のサーバ (suwa) に新バージョンの OS (SunOS4.1.3 日本語) を乗せ、これに最新バージョンのプライマリーネームサーバ、メール

サーバ、ニュースサーバを動かし、安定動作を確認したあとで UUCP 接続を落とすことにした。そして、機会をみて旧サーバ (hagio) の OS のバージョンアップ、新しいサービスなどを追加していくことにした。旧サーバはまずはセカンダリーネームサーバ、MODEM サーバとして働くことになる。LAN 部分の構成概略図を図 1 に示す。

ネットワークの IP 接続には、予め必要な機器及びソフトウェアを準備し、ネームサーバ、メールサーバを動かし、IP アドレスの切り替えを行って動作を確認したあと、接続当日に久留米 NOC にルータとタミナルアダプタを持ち込み、接続の両端に技術者を配置して連絡を取りながら、接続・試験作業を行うことにした。

3.1. 必要な準備

ネットワーク接続参加のルールとして、接続してもらう側が回線とルータなど接続に必要な機器を準備することになっている。今回準備した久留米 NOC との外部接続部分の詳細を図 2 に示す。

IP 接続に必要な準備と手順は以下になる。

(1) 回線の準備

専用回線として 64kbps を使用することにした。現在回線が来ていないので電線の敷設工事期間をみて早く回線提供者を選定する必要がある。電線の敷設工事には約 3 ヶ月は必要とのことで 12 月前に決定した。当初、メトリック回線でひくことにしたが将来の高速化を見込んで回線提供者の方で光ケーブルを敷設することになった。

(2) IP アドレスの取得

JPNIC に IP アドレスの申請をする必要がある。クラス C アドレス 4 個を申請したが、結果的に 2 個となった。アドレス枯渇の心配から割り当てが厳しくなっている。校内 LAN 導入時に再申請する必要があるだろう。

(3) ハードウェアの準備

回線アダプタとルータが相手側設置分も含めて各 2 台が必要である。選定した機器と仕様を表 2 及び表 3 に示す。ルータは費用の関係で苦慮したが丁度新製品が発売され、これを選定した。これは 64kbps, 128kbps で使用可能である。

(4) ソフトウェアの準備

まずは、全機器の IP アドレスの変更を行った。これは LAN に接続された全機器に行う必要があるものである。次に、ネームサーバ、メールソフトのインストールと設定を行った。こうして接続当日を待った。この後にインストールしたソフトウェアを含めて新し

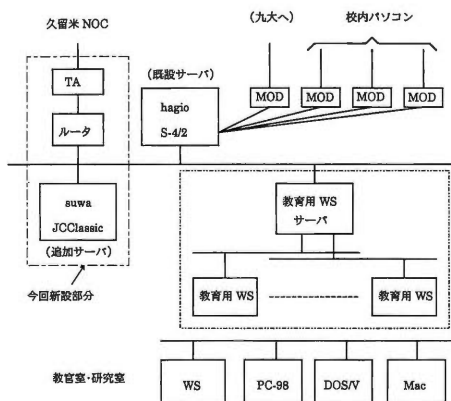


図 1 LAN 構成概略図

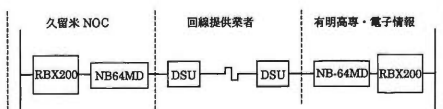


図 2 外部 (KARN) 接続

表 2 回線アダプタ

型式:	NB-64MD
網インターフェース:	
適用回線	INS ネット, 国際 ISDN, 高速デジタル専用線 (I インターフェース: 128, 64kbit/s)
サービス種別	回線交換, ハイスーパーデジタル
レイヤ 1 仕様	TCC 標準 JT-I430, I430-a 準拠
レイヤ 2 仕様	TCC 標準 JT-Q920 921準拠
レイヤ 3 仕様	TCC 標準 JT-Q920 921準拠
配線構成	ポイントーポイント, ポイントーマルチポイント
接続コネクタ	ISO8807準拠 8 端子 (8 ピンモジュラージャック)
DTE インターフェース:	
収容端末ポート数	1
電氣的条件	ITU-T 勧告 V11準拠又は V35/V28準拠 ^(注1)
論理的条件	ITU-T 勧告 X21準拠又は V24準拠 ^(注1)
接続制御手順	ITU-T 勧告 V24準拠又は V25vis 準拠 ^(注1)
接続コネクタ	JISX5102 15ピン又は ISO2593 34ピンコネクタ ^(注1)
伝送速度	同期式交換回線 64 56 48 19.2 9.6 4.8 2.4 同期式専用線 128 64 56 48
速度整合方式	TTC 標準 JT-V110, X30準拠
使用電源:	
使用電源	AC 100V, 単相50/60Hz
メーカー	日立製作所

(注1) どちらか選択です。

表 3 ルータ仕様

型式:	RBX200
プロセッサ/メモリ:	
CPU	68360 (25Mhz)
RAM	4M バイト
フラッシュメモリ	2M バイト
ネットワークインターフェース:	
イーサネット	IEEE802.3 10Base5/T いずれか 1 個
シリアル回線	RS-232C, V35, X21, V36, RS-449いずれか 2 個
ISDN	NTT INS ネット 64 1 個
コンソールポート	RS-232 DB9ピンコネクタ (DTE) 1
ソフトウェア:	
	IP (SNMP/OSPF/PPP), ASRT ブリッジ, NetBIOS フィルタリング, NetBIOS ネームキャッシング, フレームリレー, X.25, ISDN, Bandwidth Reservation (WAN バンド幅予約機能), V25bis, WANRestoral (WAN バックアップ機能)
その他:	
電 源	100-250V 50/60Hz
メーカー	proteon

表 4 新しくインストールしたソフトウェア

ネームサーバ:	BIND-4.9.2
メール:	sendmail-8.6.10+2.4W
ニュース:	inn-1.4 パッチレベル2
WWW サーバ:	CERN httpd-3.0
代理サーバ:	delegate-2.7.11
メール:	pop3
経路制御:	gated-2.1 パッチレベル 3

くインストールしたソフトウェアを表 4 に示す。

3.2. 実 施

接続当日に行うことは回線アダプタとルータの接続及び設定と接続動作の確認作業である。

当日は必要な器材をもって瀬々が久留米 NOC のある久留米・鳥栖広域情報 (株) に出かけ、松野が電子情報工学科棟に待機した。

既設機器のケーブルの整理から始め、機器の接続、続いて、回線アダプタの接続テスト、ルータの設定、ワークステーションの設定など 2 時間足らずで終わった。ルータの設定は業者の技術者、久留米 NOC の WS の設定は NOC の管理者にお願いし、特に障害はなく、順調に終わった。

3.3. サービスの拡大

ルータ、ネームサーバとメールの設定が済めば、残

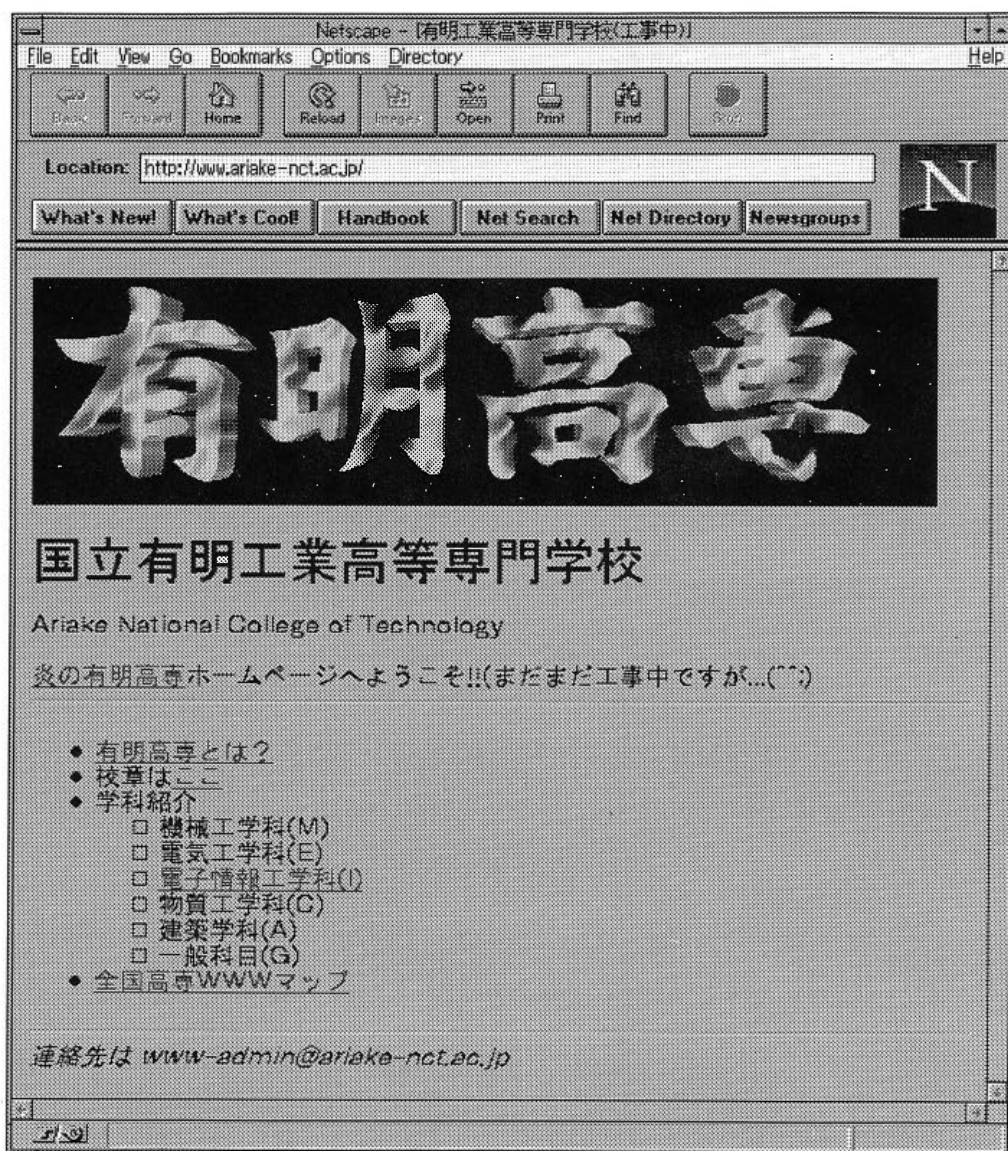


図 3 WWW サーバのホームページ

る大きな作業はニュースの設定である。

(1) ネットニュース

IP 接続への切り替えを機会に将来のニュース転送量の拡大に備えて、いままでの Cnews に代えて inn を実装することにした。ニュースの購読で大きいものは当面 f1 のみで今までと特に変えてはいない。

(2) WWW と代理サーバ

WWW はインターネットの新しいサービスで、情報の受信のみならず発進にも使え、爆発的に使用が増加している。

サーバソフトウェアには CERN と NCSA のものがあるが、CERN の httpd を使用し、日本語の変換、キャッシュのため DeleGate を使用した。DeleGate は汎用の代理サーバで、ファイアーウォールのアクセス制御だけでなく多様な付加価値機能を提供する多目的の中継サーバでもある。ここで有明高専の WWW サーバのホームページを図 3 に示す。内容についてはこれから充実して行く必要があるが、とりあえずスタートした。

クライアントソフトウェアとして Mosaic と

Netscape が有名であり、取り敢えず Netscape を使用している。これらはこのみの問題もあり、両方が使用されることになる。

(3) POP

パソコンなどからメールを使用する場合やワークステーションでも電源を自由に入り切りたいときは、メールサーバにメールを置いて、パソコンやワークステーションからは必要なときに読み書きするのが都合が良い。パソコン用のメール用クライアントソフトは POP を使用するが多いので実装した。

(4) gated

教育用ワークステーションのサーバは学科棟 LAN と教育用ワークステーションのゲートウェイとして機能している。ここに gated を実装している。いずれは、学科棟のサーバもこれに切り替えることになる。

LAN に接続している機器のクライアントのソフトウェアについては機器の種類、好み問題もあり、個別にインストールし、設定している。

4. 今後の予定

本稿を書く時点で未実施だが、今後実施予定のものに下記がある。

- (1) WWW サーバで公開するデータの充実、データ作成ツールの実装
WWW データのブラッシュアップと拡大
- (2) 電話回線からの接続に PPP プロトコルを使用
ダイヤル回線での IP 接続
- (3) ネットワーク管理ツールの使用
トラフィック管理と故障箇所の同定
- (4) セキュリティ・ソフトウェアの調査実装
パスワード管理と事務部門のセキュリティ
- (5) 多人数会話システムである CU-SeeMe 及び Reflecter の実装
画像を含む通信

などがある。

こうしたシステムを実装するのは第一歩で、それをいかに活用するかが大事である。最終的には LAN に接続したユーザの意識と利用にかかっている。

5. あとがき

今年度末には校内 LAN が導入される。平成 8 年度はこの使用・普及活動とネットワークの維持・管理活動が大きな課題となる。これは車の両輪で、両方がう

まく行かないと全体がうまく行かないことになる。

今回習得した技術を校内 LAN の普及や維持・管理活動に役立たせることが我々の使命であると認識している。しかし、今回習得した技術だけでは不足であることも認識している。この世界は進歩が速く、例えば今回導入の校内 LAN に ATM スイッチがあるが、LAN への本格的使用は我々にとっては初めてであり、使用経験がない。しかし、今後の画像データの転送量の増大を考えると高速の回線を確保しておきたいというのが採用の理由である。画像をどこまで使用するかがネットワークのトラフィックに大きく影響する。LAN の幹線部分がダウンしたときに、修理完了まではどう運営するかまでは考えておく必要があろう。主な課題をリストアップすると次のようになる。

- (1) ネットワーク管理者の増大と技術レベルアップ
研修と実践
- (2) 管理運営体制
公式組織と非公式組織、すぐ動ける人
- (3) ユーザ教育
教職員全員がメールのユーザ
是非うまく運営したいものである。

謝 辞

費用に配慮して頂いた電算機室運営委員会の委員、接続作業にご援助頂いた久留米工業大学の佐塚先生、久留米・鳥栖広域情報(株)足立氏、に感謝します。

参 考 文 献

- (1) 瀬々，堤，山下，松野：電子情報工学科内 LAN と学内 LAN の構想と現状，有明高専紀要第29号（平成 5 年 1 月）115-124
- (2) 瀬々，堤，松野：電子情報工学科教育用電子計算機システムの現状と課題，有明高専紀要第31号（平成 7 年 1 月）1-6
- (3) 石橋：インターネット構築術，(1995年 3 月) ソフトバンク（株）
- (5) WIDE Project 編：インターネット参加の手引き（1994年度版）（1994年 7 月）共立出版
- (6) WIDE Project 編：インターネット参加の手引き（1995年度版）（1995年 8 月）共立出版
- (7) 石田，後藤編：インターネットの使い方（1995年 6 月）共立出版

低ノイズ CMOS 出力バッファ構造の検討

石 丸 智 士

〈平成 7 年 9 月 27 日受理〉

A Study of the Feedback Controlled CMOS Output Buffer

This paper describes a low noise output buffer circuit controled by feedback signal. Comparing with the conventional output buffer by means of SPICE simulation, the proposed low noise output buffer decreases the switching noise due to the parasitic inductance of source/ground lines and the output ringing due to the impedance mismatch.

Satoshi ISHIMARU

1. はじめに

デバイスの微細化がすすみ、システムの高集積化、高機能化および高性能化がはかられ、さらなる高速システムが実現している。とくに、集積度、消費電力の点で有利である CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)-LSI は現在の LSI 産業において主流となっており、その素子数も 100k を超え、200 MHz でスイッチングするものもある。

このような背景のもと、高負荷をさらに高速に駆動するために、LSI チップ内の外部負荷駆動用の出力バッファの駆動能力を高める必要性が生じている。

従来、CMOS 構造の出力バッファにおいては、それを構成する出力トランジスタのチャネル幅を拡大することにより、その駆動能力をあげてきた。しかし反面、これまではあまり大きな問題ではなかった“ノイズ”，とくに電源供給ラインに存在する寄生インダクタンス，すなわち LSI パッケージのリードフレームやボンディングワイヤ等の寄生インダクタンスに起因するスイッチングノイズや、出力トランジスタのチャネル幅拡大による出力インピーダンスの低下に伴う出力信号のリングングの発生，および併走する伝送線の電磁作用に起因する結合ノイズ等の問題が深刻化し，注目を集めるようになった^{1~6)}。

本論文では、ノイズを低減するための新たな CMOS 出力バッファの構造を提案し、その効果を SPICE シミュレーションにより検討した。

2. ノイズ発生原理

(1) スイッチングノイズ

図 1 にスイッチングノイズの基本概念を示す。出力

がハイレベルからローレベルへと変化すると、容量性負荷 C の放電電流と、 p チャネルおよび n チャネル MOS トランジスタが同時にオンする状態ができることにより生じる、電源からグランドへの貫通電流が流れる。これら 2 つの電流がグランドに流れ込むため、LSI チップ内のグランドには、

$$V_b(t) = -L(dI(t)/dt) \quad (1)$$

で与えられる電圧が誘導される。これがグランド電位の変動となる。電源 (V_{DD}) の電位についても同様である。さらに、同時にスイッチングする出力バッファの数を N とすると、 $NI(t)$ の電流が流れ込むことになるので、誘導される電圧も次式のように N 倍となる。

$$V_{bN}(t) = -N \cdot L(dI(t)/dt) \quad (2)$$

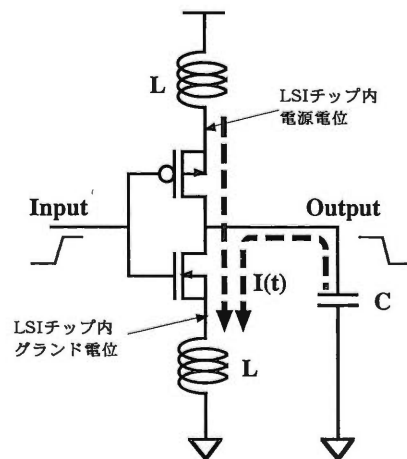


図 1 スイッチングノイズ原理図

スイッチングによる電位変動 $V_b(t)$ を抑制するには、(1) 同時にスイッチングする出力バッファ数 (N) を小さくする、(2) パッケージのリードフレーム等の寄生インダクタンス (L) を小さくする、(3) 電流変化 ($dI(t)/dt$) を小さくすればよいことが、(2) 式よりわかる。しかし、LSI が大規模になればなるほど多ピン化が進むため、方法 (1) は益々困難になる。また、方法 (2) はリードフレームの形状の工夫や、電源およびグランドラインに優先的にリードフレームが短くなるに割り当てる等によりある程度効果を得ることができ。しかし、これだけで十分なノイズ対策を施したとはいえず、さらに効果的にノイズを低減するためには、方法 (3) に着目しなければならない。近年、電流変化を小さくする方法として、出力バッファの最終段トランジスタ（以後、出力トランジスタとする）を複数に分割し、これらを順次スイッチングすることで急激な電流変化を抑える方法⁷⁾や、出力トランジスタの入力スルーレートを小さくして、電流変化を抑える方法⁸⁾等が報告されている。

(2) リンギング

低抵抗の伝送線で直接に高負荷を駆動する場合、負荷の接続部分で大きな反射を起こし、誤動作を招くことがある。これはインピーダンスのミスマッチに起因するもので、とくに ECL システムと異なり、CMOS や TTL システムにおいては伝送線の終端処理を施さないため、反射によるリンギングが出力信号に発生しやすい。リンギングを抑えるには伝送線にダンピング抵抗を挿入する方法があるが、これは、伝播遅延を増加させるため、高速システムには好ましくない。

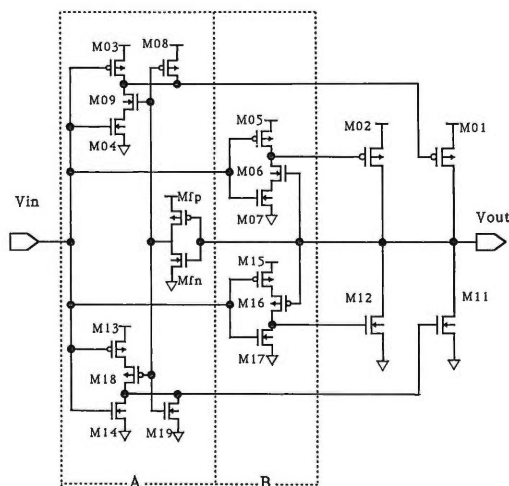


図 2 ノイズ低減出力バッファ回路

3. ノイズ低減バッファ

本論文において提案するノイズ低減バッファは、2 つの特徴を持っている。1 つめは、出力信号のフィードバックにより複数に分割した出力トランジスタを順次オンすることで、スイッチング時に出力トランジスタに流れる電流の変化を小さくし、スイッチングノイズを低減すること。2 つめは、出力が十分に遷移した後、分割した出力トランジスタの一部をオフにして出力インピーダンスを高くすることで、リンギングの抑制が可能となることである。

図 2 にノイズ低減バッファの回路図を示す。図において M01, M02, M11 および M12 が出力トランジスタである。他のトランジスタはこれらの出力トランジスタを制御するためのもので、M01 および M11 を制御する A 群と、M02 および M12 を制御する B 群からなる。

この回路の基本動作を図 3 に模式的に示す。入力信号 V_{in} のローレベルからハイレベルへの遷移を考える。入力がローレベルの時、出力トランジスタ M12 のみ導通状態にある。このため出力はローレベルである。遷移前にはインバータ M_{fp}/M_{fn} により M09 が導通状態にあるため、入力の遷移が始まり M04 が導通状態になると、出力トランジスタ M01 が最初にオンする。同時に制御部 B により M12 がオフとなる。M01 が導通状態になると出力はローレベルからハイレベルへと遷移を始め、制御部 B のトランジスタ M06 を導通させ得る電位となると、続いて M02 が導通状態となる。

このようにスイッチング初期においては 2 つに分割した出力トランジスタを段階的にオンすることで電流変化を小さくすることができるためスイッチングノイズを抑制することができる。

M01 と M02 により駆動能力を損なうことなく負荷をドライブした後、出力遷移に対し、インバータ M_{fp}/M_{fn} の伝播遅延分の時間遅れで制御部 A の M08 および M09 のスイッチングにより M01 が遮断される。

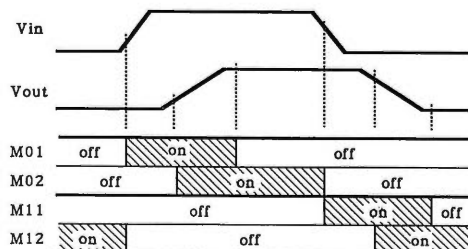


図 3 ノイズ低減バッファの動作

最終的に遷移終了後に導通状態にあるトランジスタは M02 のみとなり、出力遷移時に比べ出力インピーダンスを高くできるため、リングングに対して、伝送線にダンピング抵抗を挿入することと同様の効果を得ることができる。

入力信号がハイレベルからローレベルへと遷移する場合も同様である。

4. 回路シミュレーション

提案するノイズ低減バッファの評価を行うために、図 4 に示す回路モデルによりシミュレーションを行った。電源およびグランドラインの寄生インダクタンスを 10 nH 、出力信号ラインの寄生インダクタンスを 20 nH とした。また、リードフレームや出力信号線の抵抗成分は $1\ \Omega$ 程度以下であるので無視した。出力負荷は 50 pF とした。シミュレーション条件は電源電圧 5 V 、トランジスタ動作温度 27°C とした。使用した回路シミュレータは HSPICE (Meta-Software Inc.) である。

図 5 に一般的な出力バッファ (図 5 中の回路) の立ち下がり時における入出力および LSI チップ内のグランド電位 (VSS) の変動を示す。VSS が最大 1.55 V

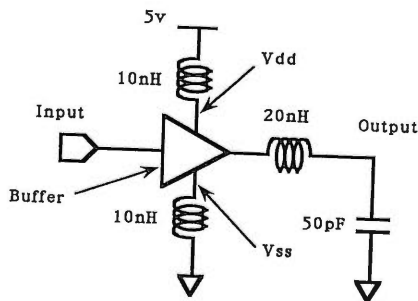


図 4 シミュレーションモデル

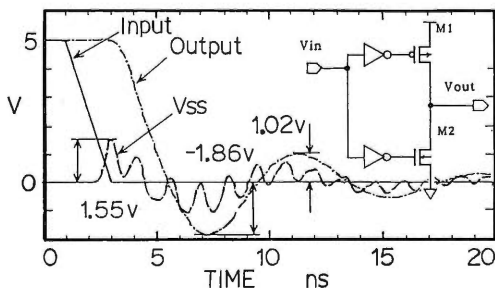


図 5 一般的な出力バッファの入出力およびグランド電位の変動

まで変動している。また、出力信号に関しても -1.8 V のアンダーシュートを生じ、さらに最大 1.02 V の振動が見られる。周辺の LSI チップと TTL レベルでのインタフェースがなされている場合、 1.02 V の出力信号の振動は LSI チップ間でのデータ転送に支障を来す可能性がある。

図 6 は提案する回路の立ち下がり時における同様の波形である。図 2 の回路図と、図 5 中の回路図における出力トランジスタのチャネル幅の関係は、

$$M01 + M02 = M1, \quad M11 + M12 = M2 \quad (3)$$

である。チップ内のグランド VSS の最大電位は 0.94 V であり、一般的な出力バッファに対して 39% 低くなっている。また、出力のアンダーシュートに関しても、 -0.82 V と 56% の、振動の最大も 0.22 V と 78% の改善がみられる。

ここで、ノイズ低減バッファを用いた場合には、一般的な出力バッファと比較して、約 3 割程度の伝播遅延の増加が見られた。遅延の増加は高速化にとって好ましいものであるとはいえないが、誤動作の要因であるノイズを低減することは重要であり、この点における提案した出力バッファの有効性が確認された。

5. 結 論

ノイズ、とくにスイッチングノイズの抑制を効果的に行うことが可能である出力バッファの回路構造を提案した。

提案した回路は出力信号のフィードバックにより出力トランジスタを制御するものであり、スイッチングに伴うチップ内の電源およびグランド電位の変動を抑制し、かつ、出力信号の振動を抑えることが可能であることが回路シミュレーションにより確認された。

なお、本稿は 1992 年度電子情報通信学会秋季大会での発表内容 (題目: フィードバック制御を用いたノイズ低減 CMOS バッファの検討) を再度検討し、ま

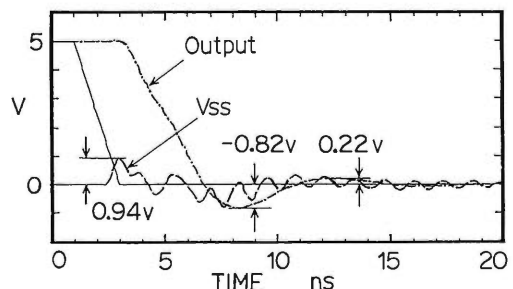


図 6 ノイズ低減出力バッファの入出力およびグランド電位の変動

めたものである。本稿の載録にあたり、快く承諾を頂いた沖電気工業（株）の関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) R. Senthinathan, J. L. prince, IEEE J. Solid State Circuit, 26, 1724-1728 (1991).
- 2) K. Katoh et al., ICD90, 159, 9-13.
- 3) T. Gabara, D. Thompson, ISSCC 88 Digest of Tech. Papers, 88-99 (1988).
- 4) 川原康夫, 日経エレクトロニクス, 462, 286-288 (1988)
- 5) 斉藤成一, EMC, 38, 16-29 (1991).
- 6) 吉森崇, EMC, 38, 38-43 (1991).
- 7) Texas Instruments, “超高速 CMOS ロジック IC 活用法”, CQ 出版.
- 8) T. Arakawa et al., ICD90, 153, 9-14.

MOS 集 積 回 路 の 試 作

—九州工業大学 情報技術セミナーに参加して—

中 村 俊三郎

〈平成 7 年 9 月 27 日受理〉

A Trial Fabrication of MOS Integrated Circuits

— On the Attendance to the Information Technology Seminar
at Kyushu Institute of Technology —

The integrated circuits of the p-channel MOS transistors have been fabricated on the attendance to the information technology seminar at Kyushu Institute of Technology. The seminar was so valuable that many basic technical issues which should be used in the education of the semiconductor devices were included. The preparation of such semiconductor experimental course has also been made in the department which the author belongs to. In this paper, the fabrication procedures in the seminar were explained and the present status of the experiments in the department was mentioned.

Shunzaburo NAKAMURA

1. ま え が き

半導体デバイスに関する教育は、著者の所属する学科においてカリキュラム上ひとつの柱になっている。それは、プロセス技術について座学だけではなく実習をも含むものである。平成 3 年に完成した学科棟にはクリーンルームがあり、基本的な半導体デバイスを製作できるようにするため努力してきた。

今回、九州工業大学、マイクロ化総合技術センターで行われた情報技術セミナーに参加する機会を得、そこで、学部 3 年生に対して行われている集積回路製作実験を実習することができた。その内容は、プロセス技術の教育的実験として、基本的内容を数多く含んでいる (1)~(3)。

半導体プロセスの実験では、一般的に、かなり高額の実験が必要となる。高専において大学と同様の設備の実現を目指すことは現実的ではない。しかしながら、全く同じプロセスは採用できないにしても、工夫すれば原理として同じ内容の実験を可能にすることはできよう。高専での教育を考えると、高度化し専門化しすぎた現状の半導体プロセスをそのまま教育するよりも、むしろその方が効果が大いとも期待できる。そのような意味で、今回の実習は、今後、当学科で半導体のプロセスに関する実験ができるように準備していく上で大いに参考になるものであった。

ここでは、その実習内容を説明するとともに、当学科での現状および課題について述べる。

2. MOS 集積回路

製作した集積回路は、エンハンスメント型 p チャネル MOS トランジスタで構成されたフリップフロップ回路で、その写真を図 1 に示す。

図 1 (a) において、上から 3 列目まで各 4 個と一番下の列の中央の 2 個の合計 14 個のフリップフロップ回路が見られる。横方向には、同じ形状の回路が並んでおり、縦方向には負荷 MOS のゲート長が異なる回路が並んでいる。ただし、1 段目と 4 段目は同じ形状である。下方にある素子は、テスト用の素子で、各フリップフロップを構成しているトランジスタと同一形状の

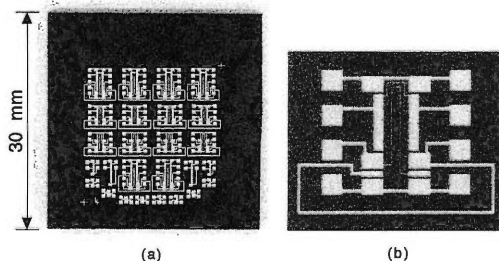


図 1 試作した MOS 集積回路

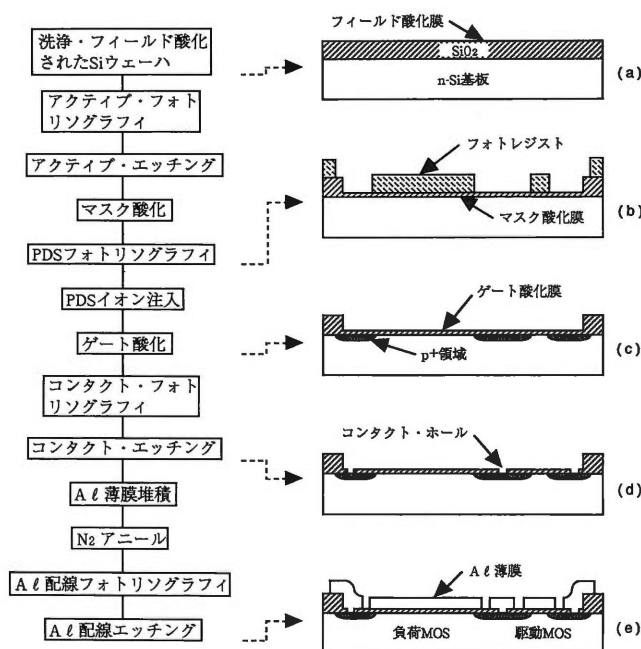
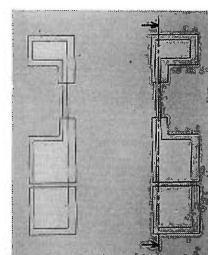
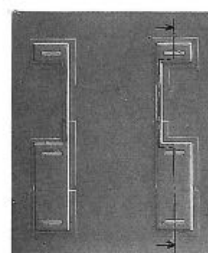


図2 集積回路の製作過程とウェーハ断面

図3 PDS フォトリソグラフィ後の
のフリップフロップ領域図4 コンタクト・エッチング後
のフリップフロップ領域

個別素子である。図1(b)は、2段目の1つのフリップフロップを拡大したものである。左右ほぼ対称で、左右それぞれがインバータ回路を構成している。各インバータ回路は、上側が負荷MOS、下側が駆動MOSで構成されている。負荷MOSのゲート長は、1段目が2.7mm、2段目が1.2mm、3段目が0.3mmでゲート幅はみな同じで30 μ mである。駆動MOSは、みな同じで、ゲート幅は0.3mm、ゲート長は30 μ mである。

3. 製作過程

集積回路の製作過程とウェーハ断面を図2に示す。製作は、フッ酸や超純水などで洗浄した後、図2(a)に示すような酸化膜厚約1 μ mのフィールド酸化が施された30mm角のSiウェーハから始めた。

まず、アクティブ・フォトリソグラフィとエッチングによって、トランジスタ(MOSFET)を形成する領域に窓明けを行う。次に、ソースとドレイン形成のためのイオン注入時、Si表面を保護するためのマスク酸化を行い、ゲート部にはイオンが注入されないようにPDSフォトリソグラフィでフォトレジストパターンを形成する。ここまでの過程を終えた1つのフリップフロップ領域の写真を図3に示す。図3の一点鎖線に沿った断面が図2(b)である。

ここに形成されたフォトレジストパターンをマスクとしてMOSFETのソースとドレイン領域にB(ホウ素)をイオン注入装置で注入する。注入後、フォトレジストをアッシャーで除去する。

次に、BHF(緩衝フッ酸)でマスク酸化膜を取り除き、乾燥酸素雰囲気中で1000 $^{\circ}$ C、60分のゲート酸化を行い、MOSFETのゲート酸化膜を形成する。また、この酸化のための加熱によって、注入されたBは活性化され、ソースとドレインになるp $^{+}$ 領域が形成される。この状態の断面が図2(c)である。

ソースとドレイン領域に電極を取り付けるため、その領域上の酸化膜にコンタクトホールをあけるためのコンタクト・フォトリソグラフィを行う。そのパターンをマスクとして酸化膜をエッチングする。コンタクトホールをあけた状態の写真を図4に示す。この写真は、図3と同じ領域である。また、図4の一点鎖線に沿った断面が図2(d)である。

その後、フォトレジストを取り除き、ウェーハ全面にスパッタリングでAl薄膜を成膜する。配線パターンのためのフォトリソグラフィを行い、Al配線エッチングによって、配線パターンを形成する。そして、フォトレジストを除去すると、断面は図2(e)のようになり、これが図1の集積回路である。

4. 測 定

完成した集積回路の特性は、プローバで各電極に接続をとり、HP 社製、Semiconductor Parameter Analyser 4145B を用いて行った。図 5 は、インバータの負荷 MOS (図 1 において上から 2 段目のフリップフロップ) のドレイン電流—ドレイン電圧特性である。これから、MOSFET として代表的な出力特性を示している。図 6 は、同じ MOS のドレイン電圧 -20 V の時のドレイン電流—ゲート電圧特性である。この特性からしきい電圧は、約 -2 V である。図 7 は、図 6 の縦軸を平方根を取って示したもので、しきい電圧以上でほぼ直線になっていることから、理想的な MOSFET に近い特性を示していることが分かる。

インバータの入出力特性を図 8 に示す。この図から、入力電圧 1.5 V までは遮断領域を示し、そのときの出力電圧は 12.5 V 、また、入力電圧 3.5 V 以上で飽和領域となり、そのときの出力電圧は 0.8 V 程度である。

限られた実習時間のため、フリップフロップとしての動作は、確認できなかった。しかしながら、2つのインバータが、ほぼ同じ特性を示すならば、一方のインバータ出力 12.5 V で、他方のインバータは飽和領域を示し、飽和領域の出力電圧 0.8 V で元のインバータは遮断領域となる。このことから、フリップフロップが安定に動作するであろうことが分かる。

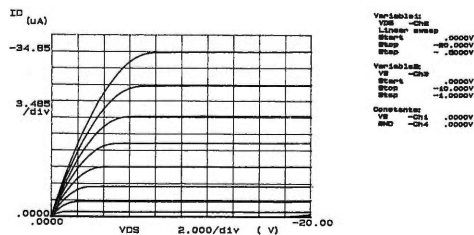


図 5 負荷 MOSFET のドレイン電流—ドレイン電圧特性

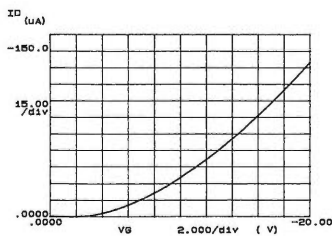


図 6 負荷 MOSFET のドレイン電流—ゲート電圧特性

5. 現状と課題

はじめに述べたように、当校の電子情報工学科は、平成 3 年に完成した学科棟内に約 50 m^2 のクリーンルームがある。現在の主な装置は、高周波スパッタリング装置、マスクアライナ等である。しかしながら、半導体デバイスに関する測定装置は、ほとんど何もない。

これまで卒業研究において、一昨年度は、スパッタ装置の成膜特性を把握するため、図 9 に示すような Al の成膜速度のスパッタガス圧依存性を調べた⁽⁴⁾。昨年度は、ゲート酸化膜の製作が可能かどうかを調べるために、図 10 に示すような MOS ダイオードを製作し、 C-V 特性を測定した⁽⁵⁾。その測定結果の一例を図 11 に示す。

今年度は、ウェーハプロセスに必要なフィールド酸化膜の形成、および簡単なパターンのフォトリソグラフィができるようにして、それらを用いて、MOS 構造と pn 接合の製作を計画している。これらは、p チャネル MOS トランジスタ、さらには、今回情報技術セミナーで製作したレベルの集積回路が作れるようになるための準備である。

著者は、当学科のカリキュラム構成や学生の理解度から考えて、今回製作した集積回路と同程度の集積回路を作りいろいろな要素について調べることは、卒業研究のレベルとして適当であろうと考えている。その際、各プロセスは、例えば、成膜は蒸着よりもスパッ

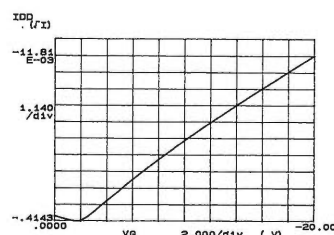


図 7 負荷 MOSFET のドレイン電流—ゲート電圧特性 (縦軸は電流の平方根)

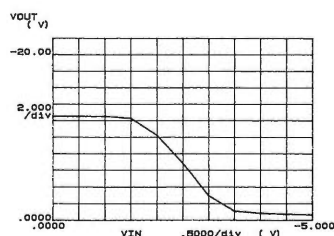


図 8 インバータ回路の入出力特性

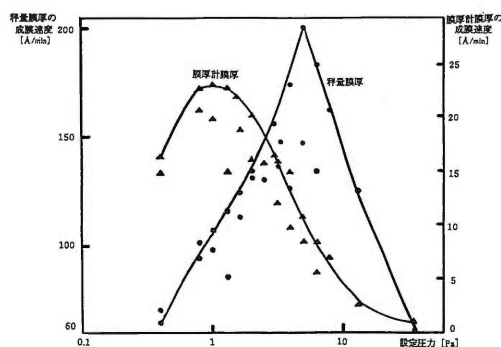


図9 スパッタリング装置の成膜特性

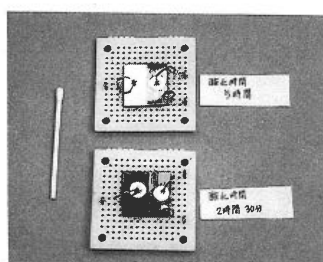


図10 MOS ダイオード

タで行うなど、できるだけその工業分野で一般的に行われている手法を採用する方が教育的である。しかしながら、今回の集積回路の製作で用いられたイオン注入装置の導入などは、当学科では不可能であろう。また、使用する薬品についても危険性の高いものもあり、安全性の確保のためにも、クリーンルームの維持管理に技官の参加も考えられる。

このようにいろいろな制約があるし、また、いわゆる学術的研究とは方向性が異なるが、教育的観点からこれまで行われていなかった新しい手法を探ることは、半導体デバイスの果たしている社会的役割ならびにそれを支える技術者の育成からすると大変重要であると考えられる。今後とも、地道な努力を重ねていきたい。

6. む す び

今回、九州工業大学の情報技術セミナーに参加して、集積回路を製作することによって、各プロセスについて具体的にいろいろな手法を学ぶことができ大変有意義であった。

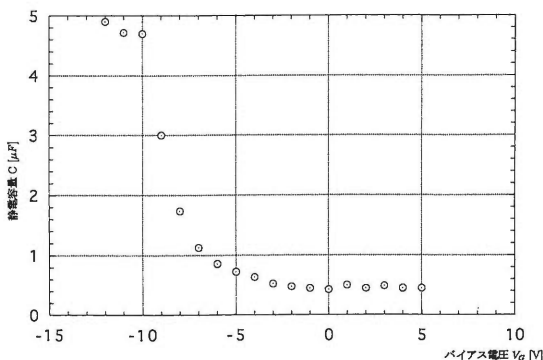


図11 MOS ダイオードの C-V 特性

当学科における半導体デバイスに関する教育は、現状では十分なものとは言えないが、今後とも、内容やレベルについて十分吟味し、そのための手法の工夫や設備の充実を図っていきたい。

謝辞 情報技術セミナーにおいて、九州工業大学、マイクロ化総合技術センター教授浅野種正氏、同、情報工学部電子情報工学科助手竹下雅信氏、同、マイクロ化総合技術センター助手牧平憲治氏には集積回路の製作を懇切丁寧に指導して頂きました。さらに、浅野種正教授には、この原稿を読んでいただき、有益な助言を頂きました。ここに深く感謝致します。

文 献

- (1) 古川静二郎，浅野種正：“超微細加工入門”，オーム社 (1989)。
- (2) 浅野種正，比嘉勝也，青木誠志，牧平憲治，竹下雅信，小森望充，鈴木正康：“マイクロ構造を利用した新分野の実習教育—集積回路からバイオセンサーまで—”，工学・工業教育研究講演会 講演論文集，pp. 135-138 (1995)。
- (3) Rutledge D. : “A Freshman Class in Solid-State Devices and Integrated Circuits”, IEEE Trans. Educ., E-29, pp.136-131 (Aug. 1986)。
- (4) 古賀久美，坂田健一，松本陽一：“スパッタリング装置の成膜特性”，有明高専 電子情報工学科卒業論文 (1994)。
- (5) 井上由紀，内村知悦：“熱酸化によるシリコン酸化膜生成条件”，有明高専 電子情報工学科卒業論文 (1995)。

アダムとデュードの距離

中 本 潔

〈平成7年10月2日受理〉

Between Adam and Jude

Adam of George Eliot's *Adam Bede* and Jude of Thomas Hardy's *Jude the Obscure* both of them belong to the same class of society, Adam the carpenter and Jude the stone-mason. I have examined how they behave.

Kiyoshi NAKAMOTO

Thomas Hardy (1840-1928) の最後の小説である *Jude the Obscure* (1895年) の主人公の Jude Fawley と George Eliot (1819-1880) の初期の田園生活に取材した傑作小説の一つ *Adam Bede* (1859年) の主人公 Adam とは共に、職人と呼ばれる社会的階層に属する青年である。デュードはアルフレッドストンの石工に修業し教会建築師の許でも修業を重ねた石工 (stone-mason) であり、アダムはヘイスロップの村の大工ジョナサン・バージ親方に雇われている腕利きの大工 (carpenter) である。

George Eliot と Thomas Hardy はイギリスのヴィクトリア朝文学を代表する偉大な小説家である。エリオットもハーディも、英文学において、イギリスの農村地帯、田園風景を描き、田舎を舞台にして、そこに住む、様々な働く人々の群れを描き出した作家として代表的な存在である。この二人の作家にとっては田舎の風景、自然の景色は、単なる小説の背景に止まらず、それ以上の意味を持つものであるといってもいいだろう。それゆえ、ハーディが *Far from the Madding Crowd* (1874年) を出版した際、匿名の作者はジョージ・エリオットだと見られて、“Wessex Novels” の価値が名実共に備った、と言われるのももっともだと思うのだ。ケンブリッジ版イギリス文学史は「George Eliot は自作農を最初に描いた作家であった。彼女の物語はコンスタブルの描いた農場やモーランドの描いた田舎の人々をわれわれに思い出させてくれる」と述べている。George Eliot に関しては、故郷の田園生活に取材して、登場人物の心の葛藤を描いたものとして、*Adam Bede* (1859年)、*The Mill on the Floss* (1860年)、*Silas Marner* (1861年) が挙げられる。

一方、Hardy は南イングランドの、昔 Wessex と呼ばれていた地方を背景にして、Wessex Novels と称される作品群を世に送った。そしてその作品に見られ

る作者の美しい力強い自然描写や哲学的考察に心打たれる読者は少なくない。作者の描く Wessex の自然は美しく、牧歌的な感じさえも与える時がある。しかしその一方では、自然は物語りの単なる背景などではなく、一つの大きな存在として描かれているようにも思える。田舎の自然の中で暮らす庶民たちのつましい暮らしぶりの中に人生の真実が描かれている。都会のきらびやかな生活の中に見られるものと違って、単調に思える、何の飾り気もない日々の営みの中にひとびとの生き方が描かれている。ハーディ自身 *Novels of Character and Environment* と分類する *Under the Greenwood Tree* (1872年)、*Far from the Madding Crowd* (1874年) *The Return of the Native* (1878年)、*Tess of the D'Urbervilles* (1891年) に彼の多様な自然の扱いが見られる。自然描写に巧みな作者は、これらの作品において単なる小説の背景以上の、大きな力を与えている。

当代随一の女流作家として知的教養の持主であり、峻厳な道德家、冷徹な哲学者の態度で、人間の奥深い心の悩みを描いた George Eliot と運命論宿命論の作家であると言われる Thomas Hardy とが、同じ社会階層に属する二人の青年を描いた。*Adam Bede* の大工の Adam と *Jude the Obscure* の Jude である。働くひとびとの典型であるこの二人の職人、大工の Adam と石工の Jude がそれぞれの環境の中でどのように描かれているかを見てみたいと思う。

(1)

George Eliot の *Adam Bede* は西暦1799年6月18日夕刻、Hayslope 村の大工の棟梁バージ (Jonathan Burge) の広々とした仕事場の様子を描きだすことから展開する。

The afternoon sun was warm on the five workmen there, busy upon doors and window-frames and wainscoting. A scent of pine-wood from a tent-like pile of planks outside the open door mingled itself with the scent of the elder-bushes which were spreading their summer snow close to the open window opposite; the slanting sunbeams shone through the transparent shavings that flew before the steady plane, and lit up the fine grain of the oak panelling which stood propped against the wall. On the heap of those soft shavings a rough grey shepherd-dog had made himself a pleasant bed, and was lying with his nose between his fore-paws, occasionally wrinkling his brows to cast a glance at the tallest of the five workmen, who was carving a shield in the centre of a wooden mantelpiece. It was to this workman that the strong baritone belonged which was heard above the sound of plane and hammer singing—

‘Awake, my soul, and with the sun
Thy daily stage of duty run;
Shake off dull sloth (p. 49)

初夏、田舎の大工バージ親方の仕事場。夏の雪のように花をひろげているニフトコの花の香りと削りたての鉋屑の匂ひが混り合う中、主人公アダムの様子が、

a large-boned muscular man nearly six feet high, with a back so flat and a head so well poised that when he drew himself up to take a more distant survey of his work, he had the air of a soldier standing at ease. (p. 50)

と紹介される。アダムは堂々たる体軀を誇る若者で、父の代からの大工職人である。腕も利き、頭も良く、誠実をモットーとして、みだりに他人に頭を下げる事のない、大の働き者である。だから、一日の仕事を終って家に帰てみると、飲んだくれの父 Thias Bede が、他人頼まれていた棺作りの仕事を放り出して、酒飲みに出かけているのを知ると、生来の責任感からこれを黙ってみておれず、仕事の疲れもありながらも、夕食も取らずに早速父親の代りに棺作りに取りかかったりするほどである。アダムにはバージ親方の許で一緒に働いている弟セス (Seth) が居るのだがこの弟セスはメソジスト教徒で、メソジストの若い説教師ダイナ (Dinah) に想いを寄せている。彼女はストーニー州の出身で、ホール農場 (Hall Farm) のポイザー (Poyser) さんの奥さんの姪に当り、ポイザー

家に寄宿して説教に廻っている。アダムとセスの母親 リズベス (Lisbeth) は、二人の息子に関して、アダムはバージ親方の娘メアリー (Mary) と結婚してくれたら、後の心配は何もない。下に職人を何人も抱えて偉くなれるのに、あの子はポイザー家で働いているヘティ・ソレル (Hetty Sorrel) に夢中になっている。あの娘だったら自分の夫の母親などかまってくれそうもない、と心配している。一方 Methodist のセスは、お祈に夢中になっていて、自分の務めを立派に果たしたなら、あとは神の御心のままに任せるべきだ、などと説くので、「お前はいつもお祈りに出かけているが、お祈りは大した効き目があるとは思えないし、お祈りをして金が二倍稼げるわけでもあるまい」などと繰り言を言う始末である。リズベスは Methodist のセスは気にかかるが、アダムには偶像崇拜にも似た気持を抱いている。

この Hayslope 村の大地主 Donnithorne 家の若主人アーサー (Arthur Donnithorne) はアダムについて次のように語る。

‘He’s a regular trump, is Adam,’ said Captain Donnithorne. ‘When I was a little fellow, and Adam was a strapping lad of fifteen, and taught me carpentering, I used to think if ever I was a rich sultan, I would make Adam my grand-vizier. And I believe now, he would bear the exaltation as well as any poor wise man in an Eastern story. If ever I live to be a large-acred man, instead of a poor devil, with a mortgaged allowance of pocket-money, I’ll have Adam for my right-hand. He shall manage my woods for me, for he seems to have a better notion of those things than any man I ever met with; and I know he would make twice the money of them that my grandfather does, with that miserable old Satchell to manage, who understands no more about timber than an old carp. I’ve mentioned the subject to my grandfather once or twice, but for some reason or other he has a dislike for Adam, and I can do nothing.’ (p. 106)

アダムは立派な男で、誰よりも知識が豊富なので、自分の代になったら、森林の管理をさせようと思っている。この土地の地主になったら、アダムに自分の右腕になってもらおうと思っている、と将来の計画まで口にする。

アダムの仕事振りについて、作者は次のように語る。仕事を愛する賢い職人に対する道具の音は、序曲の中

で、役を受け持たなければならぬバイオリン奏者に対する、オーケストラの音声合わせのようなものであって、強い弦は慣れた高音を出し始め、そま迄、喜び怒り、野心であったものが精力へと変り始める。全ての情熱は、われわれの右腕の働き、右手の熟練、あるいは静かで創造的なわれわれの心の活動、こういったものの中で、個人的運命の狭い限界からそれが出口を見つける時に、力となって行くものだ。

The sound of tools to a clever workman who loves his work, is like the tentative sounds of the orchestra to the violinist who has to bear his part in the overture: the strong fibres begin their accustomed thrill, and what was a moment before joy, vexation, or ambition, begins its change into energy. All passion becomes strength when it has an outlet from the narrow limits of our personal lot in the labour of our right arm, the cunning of our right hand, or the still, creative activity of our thought. (p. 257)

アダムは手に二フィートの物差しを持って足場に立ち、床の根太や窓枠の難しい仕事をどう克服しようかと考えながら、低く口笛を吹いたり、若い職人の一人を押しつけ、彼に代って重い材木を持ち上げ、「俺がやるよ。若い。お前の骨にはまだ軟骨が多すぎるぞ」と言ったりしている。あるいは、部屋の反対側で働いている職人の動作を鋭い目でじっと見すえて、彼の間隔が間違っていることを警告してやる。筋骨隆々たる腕の袖を捲り上げ、広い肩幅をしたこの主人公は、堅い毛の多い黒髪を、紙の帽子を脱ぐたびに、踏まれた牧草のように額の辺りに揺らしながら、大きなバリトンの声で時折声高に厳粛な賛美歌を歌い、まるで有り余る力のはけ口を求めているかのようである。

更に作者は、アダムの精進ぶりを次のように続ける。

It had cost Adam a great deal of trouble, and work in over-hours, to know what he knew over and above the secrets of his handicraft, and that acquaintance with mechanics and figures, and the nature of the materials he worked with, which was made easy to him by the inborn inherited faculty. ... (p. 258)

大工仕事でふさがっていない暇な時間は、見積りなどでとても忙しかったが、彼は聖書を読んだし、『哀れなりチャードの暦』、『天路歷程』、バニヤンの生涯などを読んでいた。借りようと思えば、パートル・マシー

からもっと沢山の書物を借りることが出来たのだが、本を読む時間が無かった。

このようなアダムの姿に関して作者は、「アダムは決して驚嘆すべき男ではないし、正当な表現をすれば、天才でもない。しかし職人たちの中で彼が普通の人物であったとは、決して言う積りはない」と語る。われわれのアダムのような強い良心、強い感覚、感受性と自制心の入り混ったものを持っている男は、どの時代の田舎職人の中にもあちこちで生れてくる。人並みの欲求と人並みの勤勉をもった素朴な家庭生活によって養はれた愛情の継承と、技両にすぐれた度胸のよい労働の中で鍛え抜かれた才能の継承によって生れる。そして、彼等の進路は、天才として進む場合はめったに無く、大抵の場合は、前途に横たわる仕事を立派にやってのける才能と良心を持った、努力する正直な男として終り、彼らの生活は、住んでいる近隣を越えてまでもそれと分る影響を与えることはない、と語る。

(2)

Jude Fawley はメアリー・グリーン村でパン屋を営む独身の大伯母ドラシラの手で育てられた孤児である。かつてこの小学校で教えを受けた旧師フィロットソン先生は、Christminster の町で今勉強にいいそんでいる。勉強好きの Jude は、いつか自分もあの学問の都の大学に籍をおいて、学徒の生活を送りたいものと思い、パンの行商を手伝いながら、読書に精出し、語学も独学で修得し、ラテン語やギリシャ語にも精通した。遠大な計画の元手にも思いアルフレッドストーンのある石工の許へと赴いた。石工としての初歩を覚え、その後教会建築師の指導をうけ、近くの村々の教会の修復工事などで調法がられるまでになって行った。

There was a stone-mason of a humble kind in Alfredston, and as soon as he had found a substitute for himself in his aunt's little business, he offered his services to this man for a trifling wage. Here Jude had the opportunity of learning at least the rudiments of freestone-working. Some time later he went to a church-builder in the same place, and under the architect's direction became handy at restoring the dilapidated masonries of several village churches round about.

Not forgetting that he was only following up this handicraft as a prop to lean on while he prepared those greater engines which he flattered himself would be better fitted for him, yet was interested in his pursuit on its own account. (p. 38)

自分がこのような技を身に付けようと思うのも、それは唯自分にもっとふさわしいだろうと自惚れているずっと大きい機関車を準備するまでのほんの支え柱にすぎないということをデュードは忘れはしなかったが、それでも彼は石工という職業に仕事そのもののため興味を感じたのだった。

He was young and strong, or he never could have executed with such zest the undertakings to which he now applied himself, since they involved reading most of the night after working all the day. First he bought a shaded lamp for four and sixpence, and obtained a good light. Then he got pens, paper, and such other necessary books as he had been unable to obtain elsewhere. Then, to the consternation of his landlady, he shifted all the furniture of his room—a single one for living and sleeping—rigged up a curtain on a rope across the middle, to make a double chamber out of one, hung up a thick blind that nobody should know how he was curtailing the hours of sleep, laid out his books, and sat down. (p. 103)

これは約十年後の Jude の姿である。ついにあこがれの都クライストミンスターへとやって来たのだ。ただこの間に Jude の身の上に大きな出来事が起きていた。アルフレッドストンで石工として働くことを決めて、仕事にも興味をおぼえて、毎週村とアルフレッドストンの町を往復していた20才のある日、アラベラ (Arabella) という小娘に誘惑された。計略にひっかり真面目一本の Jude は結婚しなければならない破目に陥って終う。こういう結婚がうまく行くはずもなく、破局はすぐに訪れ、喧嘩の挙句やがて妻と別居する。アラベラは親と共にオーストラリアへ移民として渡ってしまったのだった。

そして上記の引用へと続くのだが、クライストミンスターの町は、あこがれの地に実際住んで見ると、あこがれの対象から自分がいかに遠く離れているかが見えて来る。職人である自分は、昼間ずっと労働し、その後夜中ほとんど読書ですごす。文字通りの苦学に励んだ。土曜の晩、明日は早起きする必要がないので、デュードは他の週日より2、3時間も夜更しをして、このごろの習慣になっていた通り、グリースバツハの〈ギリシャ語〉原典で聖書を読んだ。

He was a handy man at his trade, an all-round man, as artisans in country-towns are apt to be. In London the man who carves

the boss or knob of leafage declines to cut the fragment of moulding which merges in that leafage, as if it were a degradation to do the second half of one whole. When there was not much Gothic moulding for Jude to run, or much windowtracery on the bankers, he would go out lettering monuments or tombstones, and take a pleasure in the change of handiwork.

The next time that he saw her was when he was on a ladder executing a job of this sort inside one of the churches. There was a short morning service, and when the parson entered Jude came down from his ladder, and sat with the half-dozen people forming the congregation, till the prayers should be ended, and he could resume his tapping. (p. 115)

この引用は、デュードが石工職人として働いている姿を具体的に描写している数少ない場面の一つである。石工デュードの精神的、知的生活の場面は数限りなく見出せるが、労働の場合は少い。大きな目標のための一つの手段として「石工」という仕事を選んでやっている彼にとっては生活は仕事だけではないという訳である。人生の転期において、それぞれの時期に石工として教会の修理などの仕事に従事している描写はあるのだが、この場面は最も重要なものの一つであろう。Jude が教会の内部で梯子にのぼって仕事をしていた時のこと、短い朝の礼拝があり、牧師がその場には入って来たので、デュードは梯子を下りて、6人ほどの会衆の末席に腰かけて、式が終って仕事を始めようと思っていたのだった。その時、会衆の中にスュー (Sue) の姿を認めたのだ。大伯母の以前の手紙に「スューやその身内会って、フォーレー家にいざこざを起さないように」と言って来ていたその従姉の姿であった。デュードは、このスューとの出会いにより、以後幾多の辛酸をなめることになる。

そのうち、何とか大学に入るチャンスを得んものと独学で苦勞して勉強に励んで来たデュードは、思い切って何人かの学寮長や大学のお偉方に手紙を出して、予ての夢の実現することに努力はしたが、大学の当局者は顧みてくれなかった。たった一通だけ返事の来た手紙には、「あなた御自身の領域にとどまり、従来の職をお続けになる方が、他の道を御採用なさるよりも成功の機会にはるかに多いだろうと存じます」とあった。

'Sir, —I have read your letter with interest; and, judging from your description of yourself as a workingman, I venture to think

that you will have a much better chance of success in life by remaining in your own sphere and sticking to your trade than by adopting any other course. That, therefore, is what I advise you to do.

Yours faithfully, T. Tetuphenay
'To Mr. J. FAWLEY, Stone-mason.'

(p.140)

わざわざ「石工」と書き添えた宛名書きに、長年の労働に平手打ちを喰ったかのように憤慨する。

(3)

ここまで、Adam と Jude の大工と石工、つまり職人としての仕事振りを概略みてきたつもりである。次にこの二人の青年が女性に対して取った態度を検討してみたい。

アダムはホール農場ポイザー家の手伝いをしているヘティに想いを懸けている。作者はヘティの美しさを次のように描く。

It is of little use for me to tell you that Hetty's cheek was like a rose-petal, that dimples played about her pouting lips, that her large dark eyes hid a soft roguishness under their long lashes, and that her curly hair, though all pushed back under her round cap while she was at work, stole back in dark delicate rings on her forehead, and about her white shell-like ears; it is of little use for me to say how lovely was the contour of her pink and white neckerchief, tucked into her low plum-coloured stuff bodice, or how the linen butter-making apron, with its bib, seemed a thing to be imitated in silk by duchesses, since it fell in such charming lines, or how her brown stockings and thick-soled buckled shoes lost all that clumsiness which they must certainly have had when empty of her foot and ankle; —of little use, unless you have seen a woman who affected you as Hetty affected her beholders, for otherwise, though you might conjure up the image of a lovely woman, she would not in the least resemble that distracting kitten-like maiden. I might mention all the divine charms of a bright spring day, but if you had never in your life utterly forgotten yourself in straining your eyes after the mounting lark, or in wandering through the still lanes when the fresh-opened blossoms fill them with a sacred, silent beauty like that of fretted aisles, where would

be the use of my descriptive catalogue? I could never make you know what I meant by a bright spring day. Hetty's was a springtide beauty; it was the beauty of young frisking things, round-limbed, gambolling, circumventing you by a false air of innocence—the innocence of a young star-browed calf, for example, that, being inclined for a promenade out of bounds, leads you severe steeple-chase over hedge and ditch and only comes to a stand in the middle of a bog. (p. 129)

ヘティの美しさは春の美しさだと言う。小猫のようにあどけなく、子馬のように活力に溢れていて、素晴らしい容姿に恵まれている。しかしそのヘティの美しさの下に隠れている美しい偽りをポイザー夫人はいつもの暮らしから見抜いている。「ヘティは、教区の人々が皆な死んでもお日様が出ている時には、塀の上を気取って歩いたり、羽根を拡げて見せたりする孔雀と変わらない」。ヘティは贅沢と虚栄に憧れる小娘である。

アダムはヘティのこんな魅力にとりつかれると、片思いにすぎないのに、ヘティに会いに行く始末。そしてドニーソン家の地主の跡取りであるアーサーも、美人のヘティに気があって、いろいろな口実を設けてはホール農場まで出かけて行く。虚栄心の強いヘティはアダムが自分に気持を寄せているのを知りながらもポイザー夫妻に「今はバージに雇われているけれど、いつかは親方になる男」とアダムとの結婚をすすめられても、将来の地主アーサーの顔がいつも夢のごとく付きまとうのだ。

ある日、アダムはアーサーが軍隊に帰る送別会のための準備会にでて、Donnithorne Chase を通って帰る途中、アーサーとヘティの逢引の現場を見てしまう。アダムはアーサーがヘティへの自分の愛を知りつつ情事に耽っていると思い込み、猛烈に抗議する。一方アーサーはアダムのヘティへの気持を知らず、彼の非難がましい態度はけしからぬと言り返す。ヘティが金持アーサーの慰みものになっていると知ると、有産階級の偽善と傲慢な態度を見て憤激し、友情を抛ってこの場のうっ憤とアーサーに対する憎しみを晴らす。多年の友情に亀裂を生む決定的な出来事となる。しかし問題はこれだけでは解決しなかった。ヘティは既にアーサーの子を宿していて、未婚の母となった時の村人たちの売女呼ばわりを想像すると堪えきれずに、故郷を棄てて、軍隊へ戻ったアーサーを求めて放浪の旅に出ることになる。この件に関してはアーサーの手引きがあったものとアダムは即断して彼を激しく憎んだのだが、それはヘティの女性的本能と意志による行動

であったのだ。放浪の旅に出たヘティはアーサーを探し出すことは出来ず、その子を殺し、嬰兒遺棄と過失死という刑事罰によりオーストラリアへの流刑となる。頑に心を開かなかった彼女はメソジストの説教師ダイナの真心の説得で罪を告白したのだった。

ヘティの常軌を逸した行為によって、アダムの目論見ははずれてしまい、彼はその反省として自分のまわりに居る人々を大事にしていこうと思う。従って母親リズベスや弟セス、ポイザー一家の人々は大切な人々で、彼らとの交りのうちに、ポイザー夫人の看病に来ているダイナの清廉高潔な人柄の魅力に引きつけられるのを感じるようになる。ダイナは父親が急死したとき早速かけつけて悲しむ母親を慰めてくれていた。このリズベスが、弟セスとの気持も考えずに、ダイナとアダムの結婚を画策するのだ。セスとの間では結婚は考えずに、敬虔なメソジストとして神への奉仕の生活を考えていたが、アダムの考えを聞くと、よく理解できるし、アダムの素晴らしい男性的な姿にひかれて結婚を決意する。ここにはあまりにも理想的な愛の結実の姿が描き出されているように思える。

さて、デュードであるが、前にも述べたように、アラベラとの早まった結婚も、彼女の一家が移民として海を渡ったので、自ずと解消した状態にはなっているが、形としては残っている。クライストミンスターで旧師フィロットソンに会い、又従姉のシューにも会った。そしてシューを、伯母の言葉があったにも拘らず、愛するようになったが、妻のある身としては思いを打明けるわけにも行かず、フィロットソンがシューに恋するのを見て失望する。

デュードは、シューが師範学校に在学しているのでメルチェスターの町へ出かけて行く。石工として働きながら説教師となるための神学を勉強する。シューはさきにフィロットソンと婚約を結び、卒業後は良人を助けて学校に勤務するつもりである。デュードは自分に妻のあることを隠して、シューと交際を続けていたが、ある日二人は郊外に散歩を試み、汽車に乗り遅れてシューは門限に遅れる。寄宿舎の一室に監禁されている時逃げ出してデュードの下宿にかけつけ、退学を命ぜられる。デュードが彼女にアラベラのことを話すと、間もなく二人は結婚してしまった。しかし不幸な結婚で、フィロットソンは自分を愛することのできない妻を解放して、離婚の手続きを取る。正式な結婚は結婚の手続きをとらないまま、内縁関係を継続するうちに、社会の迫害をうけて二人は放浪の生活を始める。デュードはまだ学者の生活に未練が残っていて、またクライストミンスターへ舞戻。この時デュード夫

婦には三人の子が居る。‘Old Father Time’はデュードとアラベラの子でオーストラリアで生れたのだった。そしてシューからやがて又赤坊が生れると聞かされると、二人の弟を殺し、自分も死んでしまう。

シューは死児を生み、天罰を蒙ったものと思ひ込む。今まで因習を無視し、異端の思想を吐き、結婚を卑俗な契約と考えていたものが、フィロットソンとの結婚は神の結ばれたものだと思い、フィロットソンの許に帰ってう。デュードは、希望を失い、労働を失ひ、今また愛児と恋人を失い、絶望のあまり酒に溺れて、又してもアラベラのわなにかかって結婚する。しかし彼はもう健康をそこねていて、間もなく死の床に横わる。そしてアラベラが大学記念祭を見て遊び廻っている間に、デュードは、わが身の上を呪いながら、三十年の短い生涯の幕を閉じるのだ。

(4)

作者ジョージ・エリオットは、『アダム・ビード』の中に、産業化のまだ進まない一昔前のそれこそイギリスのどこにでも見られたような農村地帯とそこに暮らす人々とを、ユートピア的に理想化して描いたものと思はれる。そこに、作者は「人間」への信仰を強く表わしていると見る事が出来る。昔ながらの農村。大地主が村を支配し、村の教区には牧師がおり、農場があり、牧場があり、良く働くひとびとが、それぞれの流儀で暮らしている。

アダムはこの農村共同体の重要な構成員で、自分の仕事には妥協を許さず、自身に満ちて、そんな人柄が村人に信頼されている。女性との関係でも、好きなヘティが若い領主に愛されたいと浅はかな望みを抱いても、彼女は憧れの対象であり、大事に思っている。ダイナとの結婚でも、相手を大事にする気持は同じである。

それに比べると、デュードは自分の帰属すべき共同体も、張るべき根も持ち合せていない。はじめから根無し草としてこの世に生れるという悲劇を背負っている。メアリー・グリーン村は自分がそこから出て行かなければならない場所であった。デュードは自分が生れた階級身分に不相応な頭脳に恵まれたが、その知力を十分に伸ばす教育の機会に恵まれなかった。超人的努力での自己教育も社会の壁を打ち崩すには至らない。

彼の選んだ「石工」という仕事は単なる口過ぎのための手段にすぎなかった。それ故、向上のため仕事の腕を研ぐこともなかった。野心の実現のためやって来た都会では、挫折を経験しては遍歴を重ねるのみ。その土地の生活には入り込むことがない故に、寂しい思いをするだけだ。

女性との関係を見てみると、ヂュードは愚かにも村の小娘アラベラに妊娠を口実に騙されて、何の自覚もないままに結婚し、挙句の果てには棄てられる始末。自分の理想を実現しようと出かけた大学町でも、寂しさを紛らしてくれる対象として、伯母の厳しい忠告に反してまでも、シュエを捜して、彼女の再三に亘る気紛れに翻弄される。オーストラリアから戻ったアラベラが、自分たちの子だと言って連れて来た子供の養育を迫るときも唯唯諾諾としている。そしてあの悲劇の後、シュエが神によって結ばれた結論だと言って、前夫フィロットソンのもとに戻って行くと、ヂュードは酒に溺れて、死んだも同然の存在になる。それを利用して、今度は別の女アラベラにうまく謀られて再び結婚させられてしまう。ヂュードは、相手のその時々の状況に応じて、女の言いなりになる。身に着けた豊富な知識を役立たせることもしないし、様々な経験から学ぶこともない。

「大工」と「石工」といういはば同じ職人の世界にいる二人の主人公アダムとヂュードを検討してみようと取り掛った作業ではあったが、いささか思惑が外れたようだ。職人の「仕事」という観点から比較検討することができなかった。その主な理由は、ヂュードの世界が「石工」という仮の姿をまといながら、働く職人としてのヂュードの姿をあまり見せてくれなかった点にありそうだ。全編を通して、仕事とは懸け離れた知的、精神的話題に興味集中しているからだ。

ジョージ・エリオットはヘイスロープの村の中に、過去の、一つの完結した世界を描きだした。古い時代のイギリスの田園の全機構ををその中に甦えらせた。そのいわば静的な³⁾、牧歌的な世界がアダムの世界である。その世界の中でアダムはあくまでも理想的な「大工」たり得たのだ。ヘティの零落も、アーサーの誘惑も、アダムの不幸も、そしてその後のダイナとの結婚もその牧歌的の雰囲気包まれてしまう。われわれは唯

目を細めるだけである。

一方、ヂュードの世界は動いている社会である。現在進行中の世界である。ヘイスロープ村のように確定し固定した世界ではない。篇中で話題になる、J. S. ミルやニューマンなどの人物から見ても、アダムの世界から優に半世紀あとの話である。ヂュードはこの世の中を学問知識の力をかりて「職人」の階級から一つ上の階級へ昇ろうと試みるのだ。ハーディの描くところの美しい自然、牧歌的な田舎の風景はもはやこのヂュードの世界にはない。そして共同社会が皆で支え合うような牧歌的な時代ではもはやないのだ。農村社会にも産業化の波が押し寄せて、作品中にも農機具博覧会の賑やかさも描かれている。

こういう時代に、ヂュードは都会に出た。ある「傾向」を背負った心優しき石工ヂュードは、身近に自己の信念に固執する女の気紛れの風に吹かれ、因習にとらわれた庶民たちの目を避けながら、世間の波間に漂ふ以外になす術もない。

こうなると、社会のさまざまな制約と闘いながら、独り遍歴を続けるヂュードの姿は多くのことを現代に住むわれわれに教えてくれるのではなからうか。

- 1) Thomas Hardy, *Jude the Obscure* (London: Macmillan, The Pocket Edition, 1956).
- 2) George Eliot, *Adam Bede* (London: Penguin Classics, 1985).
- 3) Walter Allen, *The English Novel* (London: Penguin Books, 1991) p. 221.
- 4) 英米文学辞典第三版 (研究社 1985).

国、そのものは古代の中国の黄帝が夢の中で遊んだという華胥の国さながらに太平に治まっているし、一方、民は古代中国の聖帝堯舜二代の時代に生きた民さながらに平穏な日々を送ることが出来ているのである。

語釈①

○巖廊 官殿の側にあるひさし。転じて朝廷。巖は巖峻で官殿をいう。(漢書 董仲舒傳)「虞舜之時、遊於巖廊之上」(注) 晋灼曰、巖峻謂巖峻之廊也。○垂拱 手をこまねいて何もしないこと。(漢書 董仲舒傳)「垂拱無爲シテ而天下太平ス」。(晋書 劉琨傳)「昔虞任五官致垂拱之化」。

○輸 舟や車で物を運ぶ。又「致」の意にも用いる。○華胥之國 非常によく治まっている国。【華胥之夢】吉い夢。又は単に夢の意。黄帝が夢に華胥の国に遊んで太平のさまを見たという故事。新日本古典文学大系「本朝文学」の中で金原理教授は脚注として「非常によく治まっている国。黄帝が夢で遊んだ国。そこには貴賤賢愚の差別がなく生まれたままの自然の心を持った人間しかいない」と説明されている。この故事は次の「列子」の中にある一文に拠っている。(列子 黄帝)「三月親政事、晝寢而夢遊於華胥之國、華胥之國、在弇州之西、台州之北、不知何樂生、不知何惡死、故無夭癘、不知親己、不知疎物、故無愛憎、不知背逆、不知向順、故無利害、都無所愛憎、都無所畏忌、入水不溺、入火不熱、斫斷無傷痛、指擿無疥癩、乘空如履實、寢虛苦處、寢、雲霧不礙其視、雷霆不亂其聽、美惡不滑其心、山谷蹟其步、神行而已。黄帝既寤、怡而自得。

○堯舜之民 堯舜二代の人民。(説苑 君道)「禹曰、堯舜之人、皆以堯舜之心、爲心」。

○堯舜之民 堯舜二代の人民。(説苑 君道)「禹曰、堯舜之人、皆以堯舜之心、爲心」。

(注一) 金原理 「道真の賦『秋湖賦』試読」

(注二) 焼山廣志「菅原道真の賦について—音韻・構造上の一考察—」

(注三) 「菅原文章」卷四「霜菊詩」全文を載せる。(川口久雄校注 日本

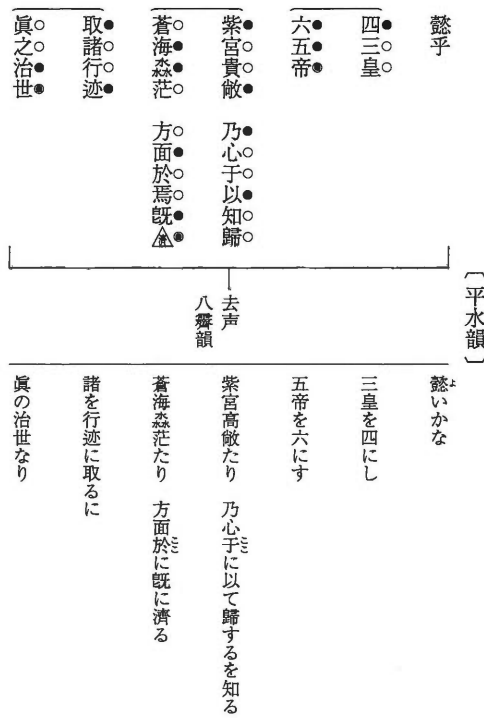
古典文学大系「菅原文章 菅家後集」の本文・訓に拠る。

332 霜菊詩 同日序 并未旦求衣賦在別卷

肅氣凝菊壇 烈采帶寒霜 結取三危色 韜將五美香 逼簾金碎鍊 依砌麝穿囊 時報豐山警 風傳麗水芳 似星籠薄霧 同粉映殘粧 戴白知貞節 深秋不畏涼	肅氣 菊壇に凝る 烈采 寒霜を帶ぶ 結び取る 三危の色 韜み將る 五美の香 簾に逼りて 金碎鍊す 砌に依りて 麝囊を穿つ 時に豐山の警めを報ぐ 風は麗水の芳しきを傳ふ 星の如き薄き霧に籠れるが似し 粉の残んの粧ひに映れるに同じ 白きを戴きて 貞節を知る 秋深くして 涼きを畏りず
--	--

之倒^レ之 自^レ公召^レ之（東の空がまだ明けきらぬ中から早朝から出勤せねばならぬので慌てふためいて衣裳を着るが、余りに急いで下ばかりを上にかぶたり上衣を下にしたり、あべこべにする体たらく。そんなに衣裳をあべこべに着るほど慌てるのも君の所からのお召しがあるからで急がねばならぬ。——『漢詩大系 詩経』——）【顛倒衣裳】顛倒は上下あべこべ、さかさまに着ける。顛は二物の上下を間違えて着ける。倒は一物の表裏を誤ること。（『漢詩大系 詩経』脚注）

⑦



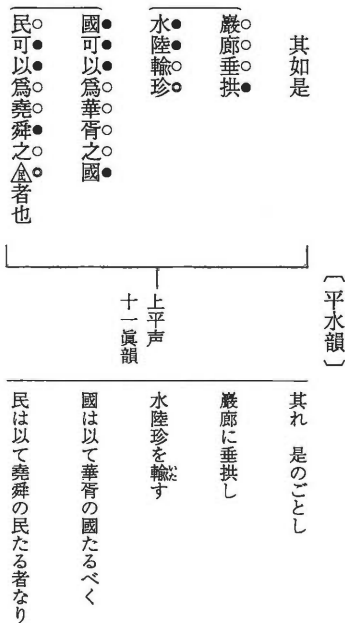
通 釈 ⑧

ああ、なんと立派な事よ。天子の政はまさしく中国古代の三皇五帝に勝るとも劣らぬものである事よ。天子の住まいは高く開けてすばらしい眺めである。群臣たちは落ちつく所がここであるとつくづく実感する。大海が青々として見渡す限り広々としているのを見るにつけ、天子の恩沢が四方すみずみまで行き渡っていることを実感する。この天子の行跡こそ眞の治世といえるものである。

語 釈 ⑨

○三皇五帝 中国上古の著名な三人の帝王と五人の人帝又は天帝（呂覽 孟秋紀 禁塞）上稱「三皇五帝之業」、以倫「其意」下稱「五伯名士之謀」以信「其事」。（文選 景福殿賦）方四三皇而六五帝、曾何夏周之足言。『本朝文粹注釈』の中で柿村重松氏は「三皇」を「伏羲」「神農」「黃帝」と「五帝」を「少昊」「顓頊」「高辛」「唐虞」「虞舜」と説明されている。○紫宮 星の名。天帝の居。紫微宮。ここでは宮中のこと。○高敵 高くうちひらけている。土地が高くひらけていて見はらしが良い。（後漢書 馮衍傳）地勢高敵、四通廣大。○乃心 なんじの心。（書経 康王之誥）雖爾身在外、乃心罔不在王室。○蒼海 あおうなばら。あおうみ。蒼海。○森茫 水等の広々とした様。（郭璞 江賦）極泓量一而海運、狀滔天以森茫（注）銑曰、森茫、闊流貌。（白居易 盧侍御與崔評事）爲予於黃鶴樓、置宴罷同望詩）楚思森茫雲水冷、商聲清脆管絃秋。

⑩



通 釈 ⑩

今迄の天子の政が万事このようであったから（今、初めて）天子自らは宮中で、衣を垂れ、手を拱き、無為にして民を善に導き、世を太平に治めになられることが出来るのである。そして又、次々にその徳を慕い国内各地より珍しい貢物がこゝに運びこまれて来ているのである。

門で歌われた「鶏鳴の詩」に感じて罪を許したため漢代の文章にたたえられた。【歌鶏鳴於闕下】 齊の太倉令の淳于公が処刑されんとしたとき、娘の緹縈が無実であることを訴え、文帝がその至誠の心に感じて淳于公を許し、以後、肉刑を廢した故事に基づいている。すなわち、班固の「詠史詩」に「三王は德弥薄く惟に後に肉刑を用ふ。太倉の令罪有りて速に長安城に就く。自ら身に子無きを恨み、困急独り箠箠たり。小女父の言を痛み死者の生くべからずと。上書して北闕に詣り、闕下に鶏鳴を歌ふ。憂心摧けて折裂し、晨風激しき声を揚ぐ。聖漢の孝文帝惻然として至誠に感ず。百男何ぞ憤憤たる、一の緹縈にしかず」とある。(全釈漢文大系「文選(文章編)五」の語注より引用)

⑥

故能

(平水韻)

嫌曳地於掖庭	上聲	故に能く
警朝天於馳道	十九皓韻	地に曳くを掖庭に嫌ひ
綺羅色薄		天に朝するを馳道に警しむ
環珮聲早		綺羅 色薄く
次山襲而璀璨		環珮 聲早し
分藻火以飄揚		山龍を次いで璀璨たり 能く緝熙を辨ず
		藻火を分ちて以て飄揚す 孰か顛倒を疑はむ
能辨緝熙		
孰疑顛倒		

通釈 ⑥

以上の事から知れるように(天子の徳化は下々にまで及び)後宮では衣服を質素にし、裳を地上にひきずるような様を嫌い、家臣は天子の御道を横ぎらないようにして拝謁するのである。あやぎぬや薄絹の衣色がはっきり見分けるこ

との出来ない早朝から参上し、足早に歩くので腰につけたおび玉の音だけがまばりしく響いている。山龍の模様を施した官服を階級通りに着て、きぬ擦れの音がしている。そして衣服の輝きでもって身分を識ることが出来るのである。一方、水藻と火炎の図案を施した官服を階級に従って身につけており、それが風にひるがえっている。一体誰が慌てふためいて衣服をあべこべに着るような失態を演じるようなことがあるうか。早朝より天子に倣って臣下も余裕をもって参上し仕えている様は今述べた通りでこのことに疑いをはさむ余地などない。

語釈 ⑥

○掖庭 王宮のわきにしらえた殿舎。宮女の居る所。(漢書 禮樂志)内有掖庭才人。(後漢書 竇武傳)長女選入掖庭。○曳地 地上を引さずる。(漢書 文帝紀)所幸慎夫人、衣不曳地、帷帳無文繡、以示敦樸爲天下先。○馳道 天子や貴人の通る道筋。(史記 秦始皇紀)二十七年、賜爵一級治馳道。○注 應劭曰、馳道、天子道也、若今之中道。(漢書 成帝紀)不敢絕馳道。○注 馳道、天子所行道也。○綺羅 あやぎぬと薄きぬ。(舊唐書 裴渾傳)後庭有綺羅之賞。○環珮 環佩に同じ。おびだま。佩玉。(禮記 經解)行步則有環珮之聲、升車則有鸞和之音。○注 環珮、佩玉也。(白居易 江南遇天寶樂叟詩)千官起居環佩合、萬國會同車馬奔。○山龍 古、袞服及び旌旗の文飾の山と龍との模様をいう。又、山龍の模様を施した服。(晉書 輿服志)天子備十二章三公諸侯用山龍九章九卿以下用華蟲七章皆具五采。○環釵 きぬずれの首。又明浄なさま。(曹植 洛神賦)披羅衣之璀璨兮、珥瑤碧之華瑤。○注 善曰、璀璨衣聲。銑曰、璀璨明浄貌。○緝熙 ひかり。光明。ひかり耀く。(詩經 大雅 文王)穆穆文王於緝熙敬止(傳)緝熙光明也。○藻火 水と藻と火炎。古の制度では其の形を刺繍して衣服の飾とした十二章の一。(書經 益稷)予欲觀古人之象日月星辰山龍華蟲作會、宋齊藻火紛米黼黻絺繡以五采彰施于五色作服。○飄揚 ひるがえりあがる。宮中に舞いあがる。(何晏、景福殿賦)參旗九旋、從風飄揚。○顛倒 さかさまになること。又、さかさまにすること。次の「詩經」の一文を踏まえている。(詩經 齊風 東方未明)東方未明、顛倒衣裳顛倒

事奈何ともすること無し

天子がお休みになられることなく早朝より政を思い、民を案じられ奢りをお捨てになつてゐる時は、かつて贅沢な虎魄の枕を寡欲の宋の武帝が部下に碎いて分け与えたように家臣や民は恩沢の恵みに浴することが出来るし、一方で又、

歌〔詩經 陳風 東門之池〕彼、美^{ナル}淑姬 可^コシ與^ニ語^ス言^ス。 ○鷄鳴絕闕下之

〔文選 永明九年策秀才文五首〕歌^{ヒテ}鷄鳴^ヲ於闕下^ニ稱^ス仁^ヲ漢牘^ニ（宮

④

當其時也

曉氛觸兮蕙帳芳

霜月低兮蘭燈映

○
●
○
●
○
●
○
●
○
●
○
●

袞○
裳○
以○
禮○

悅○
其○
松○
柏○
有○
心○

引●領●於●賢●
賤●彼●珠●玉●無●脛●

知○人○則●哲●

從○諫●惟○聖●

風○雲○感○自○四○方○

繩墨施于庶民

〔平水韻〕

其の時に當りてや

暁氛觸れて蕙帳芳しく

霜月低くして蘭燈映ず

裳を褰ぐるに禮を以てし其の松柏の心有ることを悦ぶ

領を引くに賢を於いてし彼の珠玉の脛無
きことを賤しむ

人を知るときは則ち哲なり

諫めに従ふものは惟れ聖なり

風雲四方より感じ

繩墨庶政を施す

語
釈
④

○曉氣　曉氣。あかつきの空氣。夜明けの氣象。〔宋之問、早秋上陽侍宴序〕滄洲曉氣、化爲三宮闕之形、閭闔秋風、亂三起金銀之樹。○蕙帳

時は秋。この時にあたり、夜明の空氣に香草のとばりが触れ芳しい。霜の降りたような白い光を放つ月が西に傾く頃にも殿中の美しい燈籠の明かりが映え入っている。天子に近づき願うものも挙動に礼儀をもつてする。一方天子はその家臣の松柏のように節操のあることにご満足になる。ご自分の囲りに賢者が集まることを強く願われ、一方で珠玉のようなものが集まることを嫌悪なさる。「人を知るは哲人、忠告に耳をかすは聖人」との言葉があるが（我が天子は正しく聖哲の君子である。）（ここに至つて）龍虎が風雲に遭つて昇天するように賢者が天子の徳を慕つて四方から集まつて来るし、国家を規範する法は政治のすみずみまで見事に施行されている。

天維顯▲	業乃勤也	暗室嬰帶	容光姓襟	髣髴君子之有調肌	庶幾至人之無夜夢
上平声	四支韻	上平声	四支韻	四支韻	四支韻
天維れ顯かなり	業や乃ち勤めたり	暗室に帯を嬰ふ	容光に襟を正し	髣髴を欺むかざるに懷ふ	至人の夜の夢無きに庶幾く

りつつしむ。(「揚雄 甘泉賦」) 徠_ニ祗郊煙、神所_レ依兮_{〔注〕}善曰、言來_ニ郊煙_ニ而甚敬。○黃軒 古帝の名。少典氏の子。姓は公孫。軒轅の丘に生まる。故に軒轅氏という。有熊に国す。よつて有熊氏という。時に蚩尤暴虐、諸侯を兼ね併す。帝とともに涿鹿の野に戦ひ蚩尤を擒にして之を誅す。諸侯之を尊んで天子とし神農氏に代る。土徳の瑞あるに因つて黃帝と号す。蒼頡に命じて史と爲し始めて六書を制し又陳法を制し、律呂を定め、医薬の方法を始め。凡そ宮室器用衣服貨幣の制は皆此より始まる。在位百年にして崩す。(「史記 五帝紀」) 黃帝者少典之子、姓公孫、名軒轅、有_ニ土徳之瑞_ニ故曰_ニ黃帝_一。【黃軒之往駕】 黃色帝が昇天した故事は次の「史記」の一文に拠る。(「史記 封禪書」) 黃帝采_ニ首山銅_一鑄_ニ鼎_一於_ニ荆山_一下_ニ鼎既_ニ成_一有_レ龍垂_ニ胡髯_一下_ニ迎_ニ黃帝_一黃帝上_リ騎_ス羣臣後宮從_ニ上_一者七十餘人。龍乃上_リ去_ル。餘_ノ小臣不_レ上_ル乃悉持_ニ龍髯_一龍髯拔_ケ墮_チ墮_ニ黃帝之弓_一百姓仰望_ス。黃帝既_ニ上天_一乃抱_ニ其弓_一與_ニ故髯_一號_ス。故_ニ後世因_リ名_ニ其處_一曰_ニ鼎湖_一其弓_ヲ曰_ニ烏號_一。

㊦

於是

〔平水韻〕

於是に

至人の夜の夢無きに庶幾く

君子の調の肌を有るに髣髴たり

容光に襟を正し 赤心を微隱に推す

暗室に帯を嬰ふ 髣髴を欺むかざるに懷ふ

業や乃ち勤めたり

天維れ顯かなり

通 釈

ここに至つて天子は充分に道を修めた人のようにほとんど夢を御覧になることはなく、又、早朝に衣服をお求めになるお氣持ちは、朝食前のひもじさのよう切実なものに酷似している。天子はわずかにすきまよりさし込む光の中にも襟を正し、容儀をお整えになり、一方で丹心(「真心」)をほんのささいな事にも及ぼしになる。人の見ていない暗室でもいつもお慎しみになり身を正され、一方で民に誠実であらうとなさるそのお姿(「お勤め」)は、本当に非の打ちどころのないものである。天の神もこの天子のお姿をきちんと御覧になっている。

語 釈

○庶幾 近い。○至人 じゅうぶんに道を修めた人。(「莊子 逍遙遊」) 至人無_レ己、神人無_レ功、聖人無_レ名。【至人無夢】至人は物累や妄念が無いから夢を見ることがない。○髣髴 さも似たさま。さながら。(「後漢書 馮衍傳」) 似_ニ至人之髣髴_一。○調肌 朝食前のひもじいこと。朝餓。(「詩經 周南 汝墳」) 未_レ見_ニ君子_一、怒如_ニ調肌_一。○傳 朝也。(「箋」) 未_レ見_ニ君子_一之時如_ニ朝飢之思_一食。(「集傳」) 調、一作_レ軫、重也。○容光 すきまに射し込む光。(「孟子、盡心 上」) 日月有_レ明容光必照焉。(「注」) 容光、小郤也。(「疏」) 言、日之有_レ明、凡_ニ於_ニ幾隙_一但有_ニ容_一其光_一者、則必照_レ之。○正襟 えりを正し容儀を整える。○赤心 まごころ。誠意。丹心。【推_ニ赤心_一置_ニ人腹中_一】 わがまごころを人に移しても亦かくあるべしと思つて疑わないこと。人を信することのあつい喩。○暗室 くらくて人の居ない部屋。(「梁書 武帝紀」) 雖_レ居_ニ小殿暗室_一、恆理_ニ衣冠_一。【不欺暗室】人の見ていないところでも悪事をしない喩。【不欺暗室】人の見ていない暗室でも侮らないで身を慎しむ。○嬰 まとう。めぐらす。つなぐ。○黔首 秦代、人民の称。後、通称となる。黔は黎、頭髮の黒いことをいう。一説に首をおおふ黒巾。周には民を黎民という。(「説文」) 黔、黎也。秦謂_レ民爲_ニ黔首_一、謂_ニ黑色_一也、周謂_ニ之黎民_一。○思 句末に置いて語調を整える助字。(「詩經 漢廣」) 漢之広矣、不_レ可_レ泳思。

語 釈 ①

○淳德 手あついで。あついで。〔史記、秦本記〕上含淳德、以遇其下一
 ○涼秋 すずしい秋。又ひえびえとした秋。もの寂しい秋。〔李陵 答蘇武
 書〕涼秋九月、塞外草衰 ○垂衣 衣裳を垂らす。〔易經 繫辭下伝〕
 黃帝堯帝 垂衣裳而天下治 ○昧旦 夜明け方。早朝。黎明。〔詩
 經 鄭風 女日雞鳴〕女日雞鳴 士日昧旦 〔集伝〕昧、晦、旦、明也。昧旦、
 天欲旦昧晦未辨之際也。 ○步驟 歩むことと走ること 〔後漢書
 曹褒伝〕三五步驟 優劣殊軌 〔注〕孝經鉤命決曰、三皇步五帝驟三王馳。
 宋均注云、步、謂德隆道備、日月爲步、時事彌順、日月亦驟、勤思不已、
 日月之馳、是優劣也。新日本古典文学大系「本朝文粹」脚注には金原理教授の
 説明として「日月の運行がゆつくりしている時は政もゆつたりと、速くなれば
 政もすみやかに行われる。比喩は日月の運行にならつて政を行うこと」とある。
 ○無爲 〔事無事〕何もしないことをとめる。〔老子 六十三〕爲無爲、
 事無事 味無味 ○澆醜 うすい。輕薄。〔荀子 不苟、若端拜而
 議注〕時人多言後世澆醜、難爲治、故荀卿明之。 ○明目
 【明目達聰】四方の視聽を広めて天下の壅蔽を開き達せしめること。〔書經
 舜典〕明四目達四聰 〔傳〕廣視聽於四方 使天下無壅塞

②

原夫 〔平水韻〕
 原ねみれば夫れ
 君は黎元を敷し
 下は造化に従ふ
 挟纊如與 問千里於寒溫
 漱流不遑 兼万機於晨盥
 去声 二三碼

神能降祉

道可高謝

仰玄鑑以來祇

望黃軒之往駕

神能く社を降す

道高く謝るべし

玄鑑を仰ぎて以て來り祇む

黃軒の往駕を望む

通 釈 ①

そもそも君主は民を治め、民は天地自然の理に従うものである。今、天子は民を治めるに（民は）綿入の服を与えられたような心持ちになり、（天子自身は）天子の統治する広大な土地の中で寒さに苦しむものがないかと問い尋ねられ、ゆつくり身づくろいをなさるような暇とてなく、その政たるや昼夜を問わず、停ることなく行なわれているのである。（こうした天子に対しかつて黃帝になしたように）天の神は幸いを降すことが出来るだろうし（黃帝のように天子自らが）俗世から超越することも出来よう。玄妙な鏡を敬つて慎んで神をお讃えになれるのは、かつて黃帝が鼎を供えたのを神が賞で、天から降りて来た龍に乗つて昇天したような幸を御待望なさっているからであらう。

語 釈 ②

○原 たずねる。根本を探求する。「源」の本字でいずみのものをいう。転じてものの根元をたずねきわめる。 ○黎元 もろもろの民。黎は衆。元は善。一説には黎は黒、元は首であるといふ。〔漢書 谷水傳〕天下黎元、咸安樂業。 ○造化 天地をいう。天地自然の理。又万物を創造化育すること。又其の神。〔列子 周穆王〕造化之所始、陰陽之所變、謂之生謂之死。 ○織 綿。新しい綿。 ○不遑 暇がない。 ○万機 多くの機微な事。帝王の政務。よろずの政事をいう。〔列子 黃帝〕於是放萬機。〔漢書 魏相傳〕宣帝始親萬機 厲精爲治。 ○社 さいわい。神の下す幸い。めぐみ。幸福。 ○高謝 志を高くして世俗から離脱する。又、俗事を謝絶する。 ○玄鑑 玄妙な鏡。又、人の心をいう。〔淮南子 脩務訓〕誠得清明之士執玄鑑於心。 ○來祇 徠祇。來

序」詩者志之所之。在心為志、發言為詩。

○風雲

【風雲月露】いたずらに風流のことを詠じ、世事に裨益することのない空詞浮文をいう。〔隋書・李諤傳〕連篇累牘、不出月露之形積案盈箱、唯是風雲之狀。

○河漢

と

りとのないことば。河漢が遠くにあることからいう。〔莊子・逍遙遊〕吾驚怖其言、猶河漢而無極也。

○人主

君主。天子。人君。

○寒霜晚菊

【菅家文章】卷四「霜菊詩」同日序并未旦求衣賦在別卷」を指す。〔注三〕

○履貞 正しい道をふみ行う。〔曹植、下太后誄〕蹈和履貞、恭事神祇。

○穆々 威儀の多いさま。○煌々 盛んなさま。きらびやかなさま。鮮やかなさま。○濟々 威儀のさかんなさま。整いそろって美しいさま。

○鏘々 厳正なさま。盛大なさま。りっぱなさま。〔文選 卷三 張平子東京賦一首〕穆穆焉皇皇濟濟焉將焉信天下之壯觀也。〔注〕壯觀言天下之人壯大觀覽也。禮記曰 天子穆穆 諸侯皇皇、大夫濟濟 士將將。○芻蕘 草かりときこり。卑しい身分の人。『詩經』の次の一文による。〔詩經、大雅、板〕先民有言、詢芻蕘。〔傳〕芻蕘、薪采者〔箋〕古之賢者有言、有疑事、當與薪采者謀之。〔疏〕言詢於芻蕘謂謀於取芻蕘之

人、非謀於草木、故云芻蕘薪采者、是賤人也。○臺隸 台僕。しもべ。○臣道眞南郡罷官 〔公卿補任 宇多天皇〕菅道 仁和二正十六任讃岐守（止少輔博士權守等）同三十一十七正五位下。寛平三三九任式部少輔。三月廿九日、補藏人頭。○北闕 宮殿の北側に建てられたやぐらのある門。ここでは宮中のこと。○大夫登高 〔登高能賦〕君子は高山に登れば必ず詩を賦し、懷抱を發揮するをいう。九能。〔韓詩外傳 七〕孔子曰、君子登高必賦。〔漢書 藝文志〕登高能賦、可以為大夫。○小子 自分を卑下するという言葉。尊者が卑者を呼ぶ言葉。つまらぬ人間。○狂簡

志が大きく行ないがぞんざいなこと。〔狂〕は志が大きくて進取の気象のあること。〔簡〕は簡略で疎略のこと。志に伴わぬ未完成のこと。この語は『論語』の次の一文に拠る。〔論語 公冶長〕子在陳曰、歸與、歸與。吾党之小子、狂簡、斐然成章、不知所以裁之

○風雲

○河漢

○寒霜晚菊

○履貞

○穆々

○鏘々

○芻蕘

○臺隸

○臣道眞南郡罷官

○北闕

○大夫登高

○小子

○狂簡

○斐然成章

○不知所以裁之

○未旦求衣賦

○運之遼遠者淳德

○明之至遲者涼

○垂衣弗及

○昧旦相求

○隨步驟而比蹤

○顧澆醕以明目

○此焉發寢

未旦求衣賦

〔平水韻〕

運之遼遠者淳德

運ることの遼遠き者は淳徳なり

明之至遲者涼

明るることの至りて遅きものは涼秋なり。

垂衣弗及

垂衣及ばずして

昧旦相求

昧旦相求む

隨步驟而比蹤

歩み驟に隨ひて蹤を比ぶ 無為無事なり

顧澆醕以明目

澆醕を顧みて以て目を明らかにす休すといへども休すること勿し

此焉發寢

此に寢を廢す。

宜矣冥搜

宜なり 冥きに搜ること

※「○」は平韻

「●」は仄韻、「◎」は平声の押韻

「○」は仄声の押韻

「△」は題韻 「（）」は対句を示す。以下同じ。

通 釈

ますます遠くまで及ぶものは天子のあつい恵みである。昼が短く夜が長いのは秋の今の時候である。今は黄帝の時のように衣裳を垂らしたまま天下を治めるわけにはいかなないので天子自ら早朝に衣服をお求めになる。黄帝の時代は日月の運行にならい政治が行なわれ、何も手を下さない政治につとめた。一方今の天子は世の中が輕薄に流されてしまうことを反省し万遍なく目配りをなされ、休息なさるべき時もお休みになることがない。だから早朝お休みになることを止められ、服を暗いうちからお捜しになられるのも至極もつともなことなのである。

二

未旦求衣賦一首 以秋夜思政、何道済民為韻、依次用之。限三百字已上成篇。并序。

關茂之歳、後九月十二日、天子召見文章士十有二人於殿上。有勅曰、「賦者古詩之流、詩蓋志之所之。各獻一篇具言汝志。詩云賦云、一文一字、不可風雲其興、不可河漢其詞。未旦求衣、欲陳人主思政之道。

寒霜晚菊、欲叙人臣履貞之情。」

臣等謹奉勅旨、避席議曰、「穆々焉煌々焉、濟々焉鏘々焉。古之所謂謀于芻蕘、訪于台隸之義也。臣某南郡罷官、北闕通籍。忝隨大夫登高之後、敢上小子狂簡之章。其詞曰、

未だ旦ならざるに衣を求むる賦一首。秋夜政を思ふ何の道ありてか民を済むといふことを以て韻と為し次に依りて用ふ。三百字已上を限りて篇と成す。序を并せたり。

關茂の歳、後の九月十二日、天子文章の士十有二人を殿上に召見し、勅有りて曰く「賦は古詩の流なり。詩は蓋し志の之く所なり。各一篇を献りて具に汝が志を言へ。志と云ひ賦と云ひ、一文一字、其の興を風雲にすべからず、其の詞を河漢にすべからず。

未だ旦けざるに衣を求むといふは、人主の政を思ふの道を陳べむことを欲すなり。寒霜晚菊といふは人臣の貞を履むの情を叙べむことを欲するなり」とのたまふ。

臣等謹むで勅旨を奉りて席を避りて議りて曰く「穆々たり、煌々たり、濟々たり、鏘々たり。古の所謂芻蕘に謀り台隸に訪らふの義なり」といふ。臣某は南郡に官を罷めて北闕に籍を通ず。忝くも大夫高きに登る後に随ひ、敢へて小子狂簡の章を上る。其の詞に曰く。

通 釈
夜の明ける前から衣服を求めるの賦一首——「秋夜に政の事で思いめぐらしどのようにして人民をいづくし救うことができるだろうかと考える（「秋」「夜」「思」「政」「何」「道」「済」「民」という題で、その八文字をこの順序で韻字として用いる。全文三百字以上を一篇と成すことにする。序を付す。

寛平二年（八九〇）閏九月十二日に宇多天皇が、文章の士十二人を殿上に召

された。その時勅命があり、「賦というものは古詩の流れを汲むものである。詩というものは自分の心にあるものを言葉に表現したものに他ならない。ここに参列している各人がその意を汲んで一篇を作り、具体的に自分の考えを述べよ。詩といい、賦といい、一文一字たりとも、いたずらに空詞浮文に陥ることなく、又使う語そのものもとりのめのないものになつてはならない。題である（夜の明ける前から衣服を求める）では君主の政治のあり方を述べて欲しいのであり、（晩秋のきびしい冷涼の中、霜をおびている菊の花）では家臣が貞操を貫く心情を述べてもらいたいと思つてゐる。」とおっしゃる。

参列している文章士十二人は、この勅命を承つて、席を外して合議して言うことには「今承つた天皇の勅命は、うやうやしくらびやかで、厳正である。古代中国に於いては、君主が疑わしい事があると、卑賤の者にまで、分けへだてなく下問したとの話があるが、それに勝るとも劣らぬ有難く忝いお言葉であることよ。」と。

私は、讃岐守の任務を終え、再び宮中に伺候することを許される立場になつた。怖れ多いことではあるが、「大夫たるものは、高山に登れば必ず詩を賦し、自分の心に抱えているものを発露する」の故事のしりえについて志ばかりが大きくて実践の伴わない不才の人間の戯言に似た一文を献上したいと思う。その賦の内容とは（以下の通りである。）

語・釈

○求衣 衣服を求める。又、衣を持つて来させる。（鄒陽、上呉王書）始孝文皇帝、據關入立、寒心鎖志、不明求衣。（注）臣瓚曰、文帝入關而立、以天下多難、故及寒心戰慄未明而起。○次韻 和韻の一体。他人の作詞の韻字を用いて作ること。ここでは「秋」「夜」「思」「政」「何」「道」「済」「民」の八字をこの順序で韻字として用いて作ること。（文體明辨、和韻詩）按、和韻詩有三體、一曰依韻、謂同在二韻中而不必用其字也。二曰次韻、謂和其原韻而先後次第皆因之也。三曰用韻、謂用其韻而先後不必次也。（傍線、筆者）○闕茂寛平二年庚戌閏（九月）○召見 よび寄せて会う。（参考）日本紀略

「亭子院、寛平二年閏九月十二日、乙丑、召儒士於禁中。令賦未旦求衣賦、霜菊詩等」○賦者古詩之流 「文選、兩都賦序」或曰賦者古詩之流也。善日、毛詩序詩有六義二賦。故賦為古詩之流。○詩蓋志之所之 「詩

菅原道真作品研究 — 「未旦求衣賦」注釈 —

焼山 廣志

A Study of Sugawara Michizane

These are explanatory notes on a fine piece of prose poetry in Chinese written by Sugawara Michizane, the leading court scholar and poet in the Heian Period.

Hiroshi YAKIYAMA

—

菅原道真の作品群の中で「賦」と呼ばれる文体の作品が四篇あることはよく知られている。「秋湖賦」「未旦求衣賦」「清風戒寒賦」「九日侍宴重陽細雨賦」がそれである。近年、数多くの優れた道真の作品研究の論文が公にされている。この賦についても、四篇中三篇が『本朝文粹』にも収録されている所から、柿村重松氏の『本朝文粹注釈』を筆頭に、最近では、新日本古典文学大系本『本朝文粹』で金原理教授が、「未旦求衣賦」に今迄の研究成果を集大成されつつ、斬新な注を付せられているのが注目される。一方で同じく金原理教授が「秋湖賦」を読解された論文を公にされている。(注一)

今回改めて「未旦求衣賦」についての論を展開するのは、重複のそしりを免れないが、前回拙稿で道真の賦四篇について音韻上の分析を試みた。(注二)それに続いて私なりに道真の賦四篇全文の解釈に徹した作品論を先学の学恩を受けつつ展開してみたいと考えている。その手始めとして今回は「未旦求衣賦」

を取り挙げたしだいである。この作品は製作年次、製作事情等が明らかにされた序が付されている点、その序から窺い知れることは賦と詩が同時に宇多天皇より課されそれに道真が共に応じ、その作品二篇が現存している点、又その賦と詩が内容的に表裏一体となしている点等、他の三篇の賦とは趣を異にするものである。それらの点を更に探る為にも、まずこの賦の内容を正確に把握する必要があると思う。本稿はその一試論である。

本文は、新日本古典文学大系本『本朝文粹』に従った。又訓みは概ね新日本古典文学大系本『本朝文粹』に倣い、あわせて『本朝文粹注釈』、川口久雄氏校注日本古典文学大系本『菅家文章・菅家後集』を参考にして私に訓みを施した所もある。注釈は『本朝文粹注釈』で詳述されている柿村重松氏の注及び新日本古典文学大系本『本朝文粹』の金原理教授による脚注に拠る事大である。

この賦は序にもあるように「秋」「夜」「思」「政」「何」「道」「済」「民」と韻字の指定があり八回の換韻がなされている。全文をこれに倣って便宜上、換韻毎に段落分けを行い、全文を序及び八段落に分割して以下解釈を試みたい。

研究活動概要

発表した論文・著書及び講演題目 (自1994年10月～至1995年 9 月)

論文題目又は著書名	著 者	発表した誌名(巻号・年月)
サブチャネル形状係数を用いた単相乱流混合量の整理法	(川原顕麻呂) (佐田富道雄) 猿 渡 真 一 (佐 藤 泰 生)	日本機械学会論文集 平成 7 年 8 月 (B編) 61巻588号
強正実性を利用した多入出力系の適応安定化制御とその倒立振り子系での検討	川 崎 義 則 (水 本 郁 朗) (若 宮 龍 市) (岩 井 善 太)	日本機械学会論文集 平成 6 年11月 (C編) 第60巻579号
温・熱間鍛造用金型の熱軟化に関する研究	南 明 宏	有明工業高等専門学校 平成 7 年 1 月 紀要第31号
Development of the Curved Interpolation Function Based on the Parallel Processing	(Hiroshi Suzuki) Shinya Haramaki	Proceedings of Japan- 平成 6 年10月 France Congress on Mechatronics
Development of Real-Time Machining System for Metal Mold and Die	(Hiroshi Suzuki) Shinya Haramaki	Journal of Advanced 平成 7 年 7 月 Automation Techno- logy Vol.7 No.2
Development of Mechatronics Education System Utilizing Micro-controller	(Hiroshi Suzuki) Shinya Haramaki	Proceedings of 平成 7 年 8 月 ICRAM '95 Vol.1
Development of On-machine Measurement System Non-contact Profile Sensor	Shinya Haramaki (Hiroshi Suzuki)	Proceedings of 平成 7 年 8 月 ICRAM '95 Vol.2
電子情報工学科教育用電子計算機システムの現状と課題	瀬々 浩 俊 (堤 豊) 松 野 良 信	有明工業高等専門学校 平成 7 年 1 月 紀要第31号
電子回路教育へのハードウェア記述言語の使用について	瀬々 浩 俊	有明工業高等専門学校 平成 7 年 1 月 紀要第31号
斜め衝突運動をする二つの渦輪の可視化測定	簗田登世子	有明工業高等専門学校 平成 7 年 1 月 紀要第31号59-66
衝撃波形成を伴う渦一平面壁の相互作用	簗田登世子 (西 田 迪 雄) (李 民 揆)	衝撃波シンポジウム講 平成 7 年 3 月 演論文集pp.117-120
渦輪の正面衝突によって発生する衝撃波	簗田登世子 (西 田 迪 雄) (李 民 揆)	衝撃波シンポジウム講 平成 7 年 3 月 演論文集pp.121-124
Experiments on Shock and Vortex Interactions	Toyoko Minota	Proc. 19th Intl. 平成 7 年 7 月 Symposium on Shock Waves, Marseille 4, pp.343-348
分数概念を指導する知的CAIシステム～図形表現をもちいた指導の特性～	山 崎 直 子 (田 中 久 治) (近 藤 弘 樹)	平成7年度電気関係学 平成 7 年 9 月 会九州支部連合大会講 演論文集
Thermal Degradation Mechanism of α , γ -Diphenyl Alkyl Allophanate as a Model Polyurethane by PyHRGC-FTIR	Norimichi Yoshitake (Mutsuhisa Furukawa)	J. Anal Appl Pyrolysis 33 (1995) 2G9 ~ 平成 7 年 4 月 281
暮らしの中での農業	三 浦 博 史	長崎大学生涯学習研究 平成 7 年 3 月 センター編 長崎大学公 開講座叢書7「生活・地 域からの健康づくり」
Atropine Dynamics in Seedlings of <i>Duboisia myoporoides</i>	(Y.Kitamura) (R.Yamashita) H.Miura (M.Watanabe)	J. Plant Physiol 1995年 Vol.146

オキシランアクリル粒子固定化ウリカーゼおよび固定化カタラーゼ充填カラムを用いた尿酸の分析	永田良一 (川上満泰)	(権藤晋一郎) (塩澤正三)	化学工業論文集 第21巻 第1号	平成7年1月
硝酸マンガンを硫酸マンガンの合成とその放電特性	宮本信明 (藤本一志) (井上晴夫)	(木下敦士) (中島康宏) (白石誉悦)	電気化学63巻1号	平成7年1月
Study on Non-destructive Evaluation Method for Thermal Sprayed WC-Co Coatings Using Ultrasonic Waves	R.Kawase	(R.Yasutake)	Thermal Spraying-Cuvrent Status and Future	平成7年5月
An Evaluation of Methacrylic Acid-Modified Polyethylene Coatings Applied by Flame Spray Technology	R.Kawase (H.Herman)	(T.Sugama) (C.Berndt)	Progress in Organic Coatings, 25	平成7年8月
Blends of Poly(4-hydroxystyrene) and Poly(vinylpyridines)	S.Himuro		Rept. Progr. Polym. Phys. Japan Vol.37	平成6年11月
Effect of hydrophobicity of marker anions on the sensitivity of endpoint detection for potentiometric titrations of anionic polyelectrolytes	T.Masadome (T.Imato)		Fresenius J. Anal Chem., VOL.352	平成7年7月
ハイパーカードによる構造力学CAIの開発(静定構造物の解法)	上原修一 (山北峰子)	(中村俊之)	有明工業高等専門学校紀要第31号	平成7年1月
Discrete Limit Analysis of Reinforced concrete shear Walls Using Yield Criterion of Reinforced Concrete Shear Planes	Shuichi Uehara		Transactions of the Japan Concrete Institute Vol.16	平成6年3月
鉄筋コンクリートせん断断面降伏条件に関する基礎的検討	上原修一		コンクリート工学年次論文報告集Vol.17 No.2	平成6年6月
三井港倶楽部の卓子類について	(松本誠一) 松岡高弘	(川上秀人) (飯田一博)	近畿大学九州工学部研究報告(理工学編)第23号	平成6年12月
三井港倶楽部の設計図について—三井港倶楽部の建築と家具に関する研究 その1—	松岡高弘 (松本誠一)	(川上秀人) (飯田一博)	有明工業高等専門学校紀要第31号	平成7年1月
三井港倶楽部の建物について—三井港倶楽部の建築と家具に関する研究 その2—	松岡高弘 (松本誠一)	(川上秀人) (飯田一博)	有明工業高等専門学校紀要第31号	平成7年1月
黒島の自然とキリシタン—黒島文化財総合調査—	(川上秀人) 松岡高弘	(林一彦) (土田充彦)	財団法人日本ナショナルトラスト	平成7年3月
アルミ溶射摩擦ダンパーの静的および動的履歴特性に関する実験的研究	小野聡子 (辻岡静雄)	(中平和人) (井上一朗)	日本建築学会構造工學論文集Vol.41B	平成7年4月
履歴ダンパーの適正耐力分担率と架構の設計耐力	(井上一朗)	小野聡子	日本建築学会構造工學論文集Vol.41B	平成7年4月
Energy Absorption Capacity of Thermally Sprayed Aluminium Friction Damper	S.Ono (S.Tsujioka)	(K.Nakahira) (N.Uno)	Proceedings of the 14th International Thermal Spray Conference Vol. I	平成7年5月
本校における情報処理基礎教育について	山下 巖	河村豊實	有明工業高等専門学校紀要第31号	平成7年1月
構内ネットワークの構築について	河村豊實 (松野了二)	山下 巖 (堤 豊)	有明工業高等専門学校紀要第31号	平成7年1月
On Certain Matrixspaces	Fumitoshi Sakanishi		有明工業高等専門学校紀要第31号	平成7年1月

On a Metric Induced by the Quasi-conformal diffeomorphism	Fumitoshi Sakanishi	Proceedings of the Second Korean-Japanese Colloquium on Finite or Infinite Dimensional Complex Analysis	平成6年12月
Gauss Maps of Nearly Minimal Surface	Fumitoshi Sakanishi	Complex Variables	1995年
A Study of Teaching Materials of High School Mathematics—Geometric Constructions of the Graphs of Cubic Functions and Quartic Functions—	(Kiyoshi Yamaguti) Tatsuo Kawakami	Journal of the Faculty of International Studies of Cuture Kyushu Sangyo University No.3	平成7年7月
イギリス近現代史研究とレファレンス・ブック—H.J. Greaton, 'An Introduction to Sources for Historical Research'を中心に—	高田 実	有明工業高等専門学校紀要第31号	平成7年1月
菅原道真の賦について—音韻・構造上の考察—	焼山 廣志	「国語国文学研究」第30号熊本大学文学部国語国文学会	平成6年12月
丸山薫『幼年』の詩法	岩本 晃代	「研究と教育」第31号	平成7年6月
Magnetic Phase diagram around the multi-phase Point of the ANNNI Model with arbitrary Spin	Y.Muraoka (M.Michio) (T.Idogaki)	Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol.140-144	1995年
次隣接相互作用を持つ1次元イジングモデルの基底状態における磁気秩序	(小田恭一郎) 村岡良紀 (井戸垣俊弘)	九州大学工学集報第68巻 第5号	平成7年9月
スポーツマン適正テストの測定法とその活用	(宅島 章) (四宮 一郎) (高見 信義) (中村 明美) 井上 仁志	「高専教育」第18号	平成7年3月
スポーツマン適正テストによる体力判定区分の検討	(四宮 一郎) (宅島 章) (中村 明美) (高見 信義) 井上 仁志	「八代高専紀要」第17号	平成7年3月
Note on an infinite dimensional Riemann domain reserch	Tatsuhiro Honda	Report of the Arikake College of Technology No.31	平成7年1月
The Cousin Problem on an infinite dimensional domain the	Tatsuhiro Honda	Third International Colloquium on Numerical Analysis, 1994 Plovdiv Bulgaria	平成6年10月
Narrative Style and the Frequencies of Very Common Words: A Corpus-Based Approach to Dickens's First-Person and Third-Person Narratives	Tomoji Tabata	English Corpus Studies, 2, pp.91-109	March, 1995
Some Aspects of Emotional Expressions in Defoe's <i>Moll Flanders</i> : With Special Reference to Reporting Clauses	Kazuho Murata	熊本大学英語英文学第38号	平成7年3月

(注) 氏名欄 () は学外者を示す

講演題目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
水溶性切削剤の深穴工具切れ刃のクレータ摩耗へおよぼす影響	田口 紘一 明石 剛二 松川 真也 (赤沼 進)	平成6年度 精密工学会 熊本地方講演会 平成6年11月

スラスト軽減のための新しいドリルチゼル部形状の開発	田口 紘一 明石 剛二	貝 田 實	平成6年度 精密工学会 熊本地方講演会	平成 6 年11月
曲がり制御深穴あけ法の開発 (圧電素子によるパッド制御法)	田口 紘一 多田隈秀憲	貝 田 實	日本機械学会九州支部 講演論文集No.958-1	平成 7 年 3 月
曲がり制御深穴あけ法の開発 (制御パッドによる変位)	田口 紘一 多田隈秀憲	明石 剛二	日本機械学会第73期全 国大会講演論文集(IV) No.95-10	平成 7 年 9 月
2次元倒立振子系の適応状態フィードバックによる安定化制御	川崎 義 則	(神 澤 龍 市)	第73期 日本機械学会 全国大会 (福岡)	平成 7 年 9 月
表面窒化処理を施した温・熱間鍛造金型の熱負荷解析	(済 木 弘 行) (静 間 修)	南 明 宏	第46回塑性加工連合講 演会講演論文集	平成 7 年 9 月
オン・マシン計測システムの開発	原 槇 真 也		(財) 素形材センター委 託研究委員会	平成 6 年11月
高繰返しオープンニングスイッチの開発	塚本 俊 介 (竹 下 智 洋)	(川 村 啓 介) (秋 山 秀 典)	平成 7 年電気学会全国 大会	平成 7 年 3 月
パルスパワーを用いた排ガス処理	(川 村 啓 介) (竹 下 智 洋) (勝 木 淳)	塚本 俊 介 (秋 山 秀 典) (前 田 定 男)	平成 7 年電気学会全国 大会	平成 7 年 3 月
パルスパワーを用いたオゾンの生成	(東 矢 和 義) (勝 木 淳) 塚本 俊 介	(竹 下 智 洋) (秋 山 秀 典)	電気関係学会九州支部 第48回連合大会	平成 7 年 9 月
渦運動による放射音とその音源	簗田登世子		第14回流力騒音シンポ ジウム	平成 6 年12月
渦運動の観測とその放射音 (2渦輪および渦一平板相互作用)	簗田登世子		第44回応用力学連合講 演会	平成 7 年 1 月
衝撃波形成を伴う渦一平面壁の相互作用	簗田登世子 (李 民 揆)	(西 田 迪 雄)	衝撃波シンポジウム	平成 7 年 3 月
渦輪の正面衝突によって発生する衝撃波	簗田登世子 (李 民 揆)	(西 田 迪 雄)	衝撃波シンポジウム	平成 7 年 3 月
渦による衝撃波の発生 (渦輪と壁面衝撃波)	簗田登世子 (李 民 揆)	(西 田 迪 雄)	日本物理学会 第50回 年会	平成 7 年 3 月
Vortex Ring Impingement on the Wall with Shock Formation	T.Minota (M.G.Lee)	(M.Nishida)	20th Intl. Symp. on Shock Waves, Pasa- dena, CA USA	平成 7 年 7 月
Shock Waves Generated by the Interaction of Two Vortex Rings	T.Minota (M.G.Lee)	(M.Nishida)	20th Intl. Symp. on Shock Waves, Pasa- dena, CA USA	平成 7 年 7 月
Head-on Collision of Two Vortex Rings with Shock Formation	T.Minota (M.G.Lee)	(M.Nishida)	Intl. Workshop on Shock Wave-Vortex Interaction, Japan	平成 7 年 9 月
Shock Wave Generated by Vortex Ring Impingement on the Wall	T.Minota (M.G.Lee)	(M.Nishida)	Intl. Workshop on Shock Wave-Vortex Interaction, Japan	平成 7 年 9 月
マルチキャストATM交換機用セルスケジューリングコピー網の特性	松野 良 信	(林 田 行 雄)	電子情報通信学会総合 大会講演論文集 通信2	平成 7 年 3 月
Thermal Degradation on Mechanism of α , γ -Diphenyl Alkyl Allophanate as a Model Polyurethane by PyHRGC-FTIR	Norimichi Yoshitake (Mutsuhisa Furukawa)		Pyrolysis 94, Poster Presentation (Nagoya University)	平成 6 年 6 月

高分解能熱分解CCによるポリウレタン ゴムの成分分析	吉武紀道 (渡辺かおる)	(川口晋作) (古川睦久)	日本化学会中国四国支 部・同九州支部合同大 会(福岡)	平成6年11月
高分解能ガスクロマトグラフィーによる ポリウレタンの成分分析	吉武紀道 (松山波香)	(安達一樹) (古川睦久)	日本ゴム協会年会(東 京)	平成7年5月
身近な薬草をたずねて一聞いて得する薬 草の知識—	三浦博史		都城市「第14回くすり と健康展」特別講演	平成7年9月
減圧下の気液平衡の相関	渡辺 徹 (東 秀憲) (荒井康彦)	(古屋 武) (東内秀機)	化学工学会 熊本大会	平成6年11月
溶射皮膜の評価試験法 —非破壊評価の試み—	川瀬 良一		九州表面処理技術研究 会	平成7年1月
Study on Non-destructive Evaluation Method for Thermal Sprayed WC- CO Coatings Using Ultrasonic Waves	R.Kawase		International Thermal Spray Conference	平成7年5月
ポリ(4-ヒドロキシシステレン)とポリ (ビニルピリジン)の相互作用	氷室昭三		第44回高分子学会年次 大会	平成7年5月
種々のマーカージオンに応答する電極を 用いる陰イオン性高分子電解質の電位差 滴定	正留 隆	(今任稔彦)	日本分析化学会第43年 会	平成6年10月
可塑化PVC膜型電極を指示電極として 用いる高分子電解質の電位差滴定	正留 隆	(今任稔彦)	第32回 化学関連支部 合同九州大会	平成7年7月
ストレス関連疾患病棟の空間構成に関す る研究—不知火病院・海の病棟の建築理 念とその評価	新谷 肇一	(中根 博)	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
ストレス関連疾患病棟の空間構成に関す る研究(不知火病院・海の病棟の病室・ 病棟構成とその評価)	新谷 肇一	(中根 博)	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
地域に根ざした高専づくり 学生・卒業生 との協同による地区公民館構想計画	新谷 肇一 (坂本 俊久)	(金丸富士典)	日本高専学会講演論文 集	平成7年7月
地域に根ざした公民館づくり—学生・卒 業生との協同による地区公民館構想計画 —	新谷 肇一 (坂本 俊久)	(金丸富士典)	日本高専学会講演論文 集	平成7年7月
非荷重伝達すみ肉溶接継手の残留応力と 疲労強度	原田 克身	(三井 宜之)	溶接学会九州支部	平成7年5月
すみ肉溶接継手の曲げ疲労き裂の発生・ 伸展に及ぼす残留応力および板厚の影響	原田 克身	(三井 宜之)	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
道路交通騒音に対する社会反応の異文化 比較—イエーテボリ、熊本、苫小牧での 社会調査—	(矢野 隆) (泉 清人)	山下 俊雄	日本音響学会講演論文 集	平成6年10月 11月
道路交通騒音に対する社会反応の国際比 較研究—イエーテボリ(スウェーデン)、 苫小牧、熊本、コラート(タイ)での社 会調査—	山下 俊雄 (泉 清人) (ウット・ダンキティクル)	(矢野 隆) (ラグナー・リラング)	日本音響学会騒音・振 動研究会資料	平成7年2月
鉄道騒音の影響に関する社会調査—異な る段階数の尺度を用いた場合の反応の比 較—	(矢野 隆) (泉 清人)	山下 俊雄	日本音響学会騒音振動 研究会資料	平成7年2月
道路交通騒音に対する社会反応に関する 社会調査(苫小牧市)—騒音の不快感の 評価に関する研究(47)	(北谷 幸恵) (石田 勝也) (堀 信夫)	(泉 清人) (矢野 隆) 山下 俊雄	日本建築学会北海道支 部研究報告	平成7年3月
道路交通騒音の社会反応に関する調査 (緑樹帯の効果について)—騒音の不快感 の評価に関する研究(48)	(石田 勝也) (北谷 幸恵) (堀 信夫)	(泉 清人) (矢野 隆) 山下 俊雄	日本建築学会北海道支 部研究報告	平成7年3月

道路交通騒音の社会反応の国際比較研究 —その3 苫小牧、熊本、イエーテボリと コラートでの社会調査—	山下俊雄 (泉 清人) (小林朝人)	(矢野 隆) (功野一也)	日本建築学会九州支部 研究報告	平成7年3月
道路交通騒音に対する社会反応の国際比 較研究—その4 苫小牧、熊本、イエーテ ボリとコラートでの社会反応の比較—	(矢野 隆) (功野一也) (小林朝人)	山下俊雄 (泉 清人)	日本建築学会九州支部 研究報告	平成7年3月
鉄道騒音に対する社会反応に関する研究 —その1 研究の目的と調査の概要	(矢野 隆) (村上泰浩)	山下俊雄 (小林朝人)	日本建築学会九州支部 研究報告	平成7年3月
鉄道騒音に対する社会反応に関する研究 —その2 異なる段階数の尺度で得られた 反応の比較—	(矢野 隆) (吉田 淳) (小林朝人)	山下俊雄 (村上泰浩)	日本建築学会九州支部 研究報告	平成7年3月
道路交通騒音の社会反応に関する調査 (苫小牧) (交通騒音に関する社会反応の 国際比較研究1)	(北谷幸恵) (矢野 隆)	(泉 清人) 山下俊雄	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
イエーテボリ、苫小牧、熊本、コラート での騒音に対する社会反応の比較 (交通 騒音に関する社会反応の国際比較研究 2)	山下俊雄 (泉 清人)	(矢野 隆) (功野一也)	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
イエーテボリ、苫小牧、熊本、コラート での騒音に対する社会反応のパス解析 (交通騒音に関する社会反応の国際比較 研究3)	(功野一也) (矢野 隆)	山下俊雄 (泉 清人)	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
相互利用の運営方式と利用の集中 地方都市における公共図書館のネット ワーク形成に関する研究 (1)	(秀島律子) (青木正夫)	北岡敏郎 (竹下輝和)	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
相互利用の集中要因と利用圏域 地方都市における公共図書館のネット ワーク形成に関する研究 (2)	北岡敏郎 (竹下輝和)	(青木正夫) (秀島律子)	日本建築学会大会学術 講演梗概集	平成7年8月
曲げモーメント・せん断力・軸力を受け る鉄筋コンクリートせん断面の降伏条件	上原修一		日本建築学会研究報告 九州支部 第35号1 構 造系	平成7年3月
曲げモーメント・せん断力・軸力を受け る鉄筋コンクリートせん断面の降伏条件	上原修一		日本建築学会大会学術 講演梗概集 (北海道) C-2	平成7年8月
三井港倶楽部の家具について (その3) —近代の建築と家具に関する研究 (その 6) —	(飯田一博) (松本誠一)	(川上秀人) 松岡高弘	日本デザイン学会デ ザイン学研究1994第 41回研究発表大会梗概 集	平成6年10月
三井集治監の椅子について—近代の建築 と家具に関する研究 (その7) —	(松本誠一) (飯田一博)	(川上秀人) 松岡高弘	日本デザイン学会デ ザイン学研究1994第 41回研究発表大会梗概 集	平成6年10月
清力酒造事務所の家具について—近代の 建築と家具に関する研究 (その8) —	(松本誠一) 松岡高弘	(川上秀人) (飯田一博)	日本建築学会九州支部 研究報告 第35号	平成7年3月
旧立花邸 (御花) 洋館の家具について— 近代の建築と家具に関する研究 (その9) —	(飯田一博) 松岡高弘	(川上秀人) (松本誠一)	日本建築学会九州支部 研究報告 第35号	平成7年3月
清力酒造事務所の建物について—近代の 建築と家具に関する研究 (その10) —	松岡高弘 (松本誠一)	(川上秀人) (飯田一博)	日本建築学会大会学術 講演梗概集 (北海道)	平成7年8月
アルミ溶射摩擦ダンパーの静的および動 的履歴特性に関する実験的研究	小野聡子 (辻岡静雄)	(中平和人) (井上一朗)	日本建築学会構造工学 論文集 Vol.41B	平成7年4月

履歴ダンパーの適正耐力分担率と架溝の設計耐力	(井 上 一 朗)	小 野 聡 子	日本建築学会構造工学論文集Vol.41B	平成 7 年 4 月
Energy Absorption Capacity of Thermally Sprayed Aluminium Friction Damper	S.Ono (S.Tsujioka)	(K.Nakahira) (N.Uno)	Proceedings of the 14th International Thermal Spray Conference	平成 7 年 5 月
有明高専における「情報処理基礎」教育の試みと評価	山 下 巖		情報処理教育研究発表会論文集	平成 7 年 8 月
パネルディスカッション「情報処理教育における学内LANの活用について」	山 下 巖		情報処理教育研究発表会論文集	平成 7 年 8 月
二画面編集系のユーザインタフェースとその実現	河 村 豊 実	(古 川 善 吾)	電気関係学会九州支部第48回連合大会	平成 7 年 9 月
Boundary behavior of bounded function	Fumitoshi Sakanishi		The Third International Colloquium on Finite or Infinite Dimensional Complex Analysis	平成 7 年 7 月
The Boundary behavior of a bounded function	Fumitoshi Sakanishi		The Sixth International Colloquium on Defferential Equations	
高校数学教材の研究—3次・4次関数のグラフから係数の幾何学的構成について—	川 上 龍 男	(山 口 清)	全国数学教育学会第3回研究発表会	平成 7 年 7 月
2次・3次・4次関数のグラフから係数の幾何学的構成について	川 上 龍 男	(山 口 清)	1995年度数学教育学会秋季年会	平成 7 年 9 月
イギリス福祉国家形成史における国家・地方団体・社会—20世紀初頭を中心にして—	高 田 実		西洋近代現史研究会	平成 7 年 9 月
菅原道真と嶋田忠臣の唱和詩について(白居易と元稹の唱和詩との比較考察)—『菅家文草』巻4所載「聞群臣侍内宴賦花鳥共逢春聊製一篇寄上前濃州田別駕」の解釈をめぐって	焼 山 廣 志		熊本大学文学部 黒髪古典研究会 (第53回)	平成 6 年11月
日本文学の流れ(その1)(平安時代の学問の世界)—菅原道真の敬文『書斎記』を読む—	焼 山 廣 志		大牟田市教育委員会 吉野地区 自主婦人学級「合歡の会」講演	平成 7 年 2 月
日本文学の流れ(その2)(和歌の世界)—古代の恋愛の歌『万葉集』を読む—	焼 山 廣 志		大牟田市教育委員会 吉野地区 自主婦人学級「合歡の会」講演	平成 7 年 3 月
日本文学の流れ(その3)(短歌・新詩体の世界)	焼 山 廣 志		大牟田市教育委員会 吉野地区 自主婦人学級「合歡の会」講演	平成 7 年 3 月
菅原道真の『書斎記』考—白居易『池上篇』との比較考察—	焼 山 廣 志		熊本大学文学部 黒髪古典研究会 (第56回)	平成 7 年 7 月
丸山薫の出自—『幼年』を中心に—	岩 本 晃 代		日本近代文学会 九州支部 秋季大会	平成 6 年11月
$S \geq 1$ ANNNIモデルの磁気相図 (II)	村 岡 良 紀	(井戸垣俊弘)	第100回日本物理学会九州支部例会(熊本大学・教養部)	平成 6 年11月
擬1次元イジングモデルの転送行列近似	村 岡 良 紀	(井戸垣俊弘)	第100回日本物理学会九州支部例会(熊本大学・教養部)	平成 6 年11月

双二次交換相互作用をもつ $S \geq 1$ ANNNI modelの磁気相図	(小田恭一郎) (井戸垣俊弘)	村岡良紀	日本物理学会第50回年会 (神奈川大学)	平成7年3月
$S \geq 1$ ANNNIモデルの磁気相図 (Ⅲ)	村岡良紀	(井戸垣俊弘)	日本物理学会第50回年会 (神奈川大学)	平成7年3月
双二次交換相互作用を持つANNNI model. I.分子場近似	(小田恭一郎) (井戸垣俊弘)	村岡良紀	日本物理学会秋の分科会 (大阪府立大学)	平成7年5月
双二次交換相互作用を持つANNNI model. II.モンテカルロシミュレーション	村岡良紀 (井戸垣俊弘)	(小田恭一郎)	日本物理学会秋の分科会 (大阪府立大学)	平成7年9月
The existence of solutions of the $\bar{\partial}$ -Problem on an infinite dimensional Riemann domain	Tatsuhiro Honda		The Third MSJ International Research Institute on Geometric Complex Analysis, 神奈川県葉山町 湘南国際村センター	平成7年3月
A domain of meromorphy of infinite dimensional projective spaces	Tatsuhiro Honda		The Third International Conference on Finite or Infinite Dimensional Complex Analysis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.	平成7年7月
Note on an infinite dimensional Riemann domain	Tatsuhiro Honda		Research Report of the Ariake College of Technology No. 31	平成7年1月
The solutions of the $\bar{\partial}$ -operator on an infinite dimensional pseudoconvex domain	Tatsuhiro Honda		Proceedings of the Second Korean-Japanese Colloquium on Finite or Infinite Dimensional Complex Analysis, 1994, Fukuoka, Japan	平成6年12月
The Cousin problem on an infinite domain	Tatsuhiro Honda		The Third International Colloquium on Numerical Analysis, 1994, Plovdiv-Bulgaria	平成6年10月

(注) 氏名欄 () は学外者を示す

【特定研究】

年度	研究題目	学科	研究者名	金額
平成7年度	インピーダンス解析による機能性薄膜の物性評価に関する研究	電気工学科	辻 一夫 近藤誠四郎 小沢賢治 永守知見 石丸智士	4,440,000
平成7年度	アルミ溶射摩擦ダンパーの履歴特性に関する研究	建築学科	小野聡子	950,000
平成7年度	アルミ溶射摩擦ダンパーの履歴特性に関する研究	建築学科	小野聡子	100,000

【文部省内地研究員】

期 間	研 究 題 目	学 科	研究者名	留学先
平成7年5月 ～ 平成8年2月	熱間鍛造型の寿命改善と簡易寿命評価システム	機械工学科	南 明 宏	熊本大学
平成7年5月 ～ 平成8年2月	競合スピン系の相転移に関する研究	一般科目	村 岡 良 紀	九州大学

【文部省科学研究費補助金試験研究（B）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金額
平成6年度	耐熱・耐食プラスチック溶射技術の開発研究	物質工学科	川 瀬 良 一 氷 室 昭 三	7,300,000
平成7年度				

【奨励研究】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金額
平成7年度	無限次元空間における擬凸領域に関する研究	一般科目	本 田 竜 広	800,000

【一般研究（C）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金額
平成7年度	道路交通騒音に対する社会反応の地域比較研究	建築学科 北海学園大学 (研究分担者)	山下俊雄 佐藤哲身	1,400,000
平成7年度	近代化遺産としての炭坑関連施設に関する建築学的研究	建築学科 近畿大学 (研究分担者)	松岡高弘 川上秀人	1,100,000

【奨学寄付金】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名	金額	寄付者名
平成7年度	表面改質法に関する基礎的研究	物質工学科	川 瀬 良 一	400,000	東海塗装(株)
平成7年度	表面改質法に関する基礎的研究	物質工学科	川 瀬 良 一	200,000	光栄精工(株)
平成7年度	表面改質法に関する基礎的研究	物質工学科	川 瀬 良 一	400,000	三井東圧
平成7年度	建築空間デザインが当該建物の居住者又は利用者に与える心理的影響に関する基礎研究	建築学科	新 谷 肇 一	1,000,000	大木建設(株)
平成7年度	北部九州における浄土真宗寺院本堂に関する建築学的研究	建築学科	松 岡 高 弘	400,000	笹川科学研究助成

【各種委員会委員等】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者名
平成6年度～	日本機械学会九州ダイナミクス&コントロール研究会委員	機械工学科	川 崎 義 則
平成5～10年度	先端材料技術交流会 先端材料技術第156委員会委員	機械工学科	南 明 宏
平成5～7年度	長崎県自然環境保全審議会委員	物質工学科	三 浦 博 史
平成6～7年度	国際溶射会議実行委員会	工業化学科	川 瀬 良 一
平成6～7年度	高温学会溶射部会	工業化学科	川 瀬 良 一
平成7年度	福岡県技術パイオニア養成事業推進委員	工業化学科	川 瀬 良 一
平成7年度	大牟田市都市計画審議会委員	建 築 学 科	新 谷 肇 一
平成7年度	大牟田市地域住宅計画運営協議会委員長	建 築 学 科	新 谷 肇 一
平成7年度	大牟田市保健福祉ネットワーク協議会委員	建 築 学 科	新 谷 肇 一
平成7年度	大牟田市地域高齢者住宅計画推進協議会委員	建 築 学 科	北 岡 敏 郎
平成7年度	大牟田市総合計画審議会委員	建 築 学 科	北 岡 敏 郎
平成7年度	大牟田地域商業計画策定委員会委員	建 築 学 科	北 岡 敏 郎
平成7年度	荒尾市都市計画審議会委員	建 築 学 科	北 岡 敏 郎
平成 年度	日本建築学会 九州支部 歴史意匠委員会委員	建 築 学 科	松 岡 高 弘
平成7年度	日本材料学会 X線材料強度部門委員	共 通 専 門	宮 川 英 明
平成6～7年度	和漢比較文学会 文献目録委員	一 般 科 目	焼 山 廣 志
平成6～7年度	大牟田市生涯学習まちづくり推進本部委員	一 般 科 目	焼 山 廣 志
1994年度～	Member of the International Editorial Board, <i>Revue. Informatique et Statistique dans les Sciences Humaines</i>	一 般 科 目	Tomoji Tabata
1995年度～	英語コーパス研究会 運営委員, 論文審査委員	一 般 科 目	田 畑 智 司

【卒業研究】

機械工学科

	研 究 題 目	指導教官	学 生 名
平成5年度	純金属における高温変形応力の変形経路依存性とその予測	宮 川 英 明	西 村 慎 一・宮本由紀子
	セラミックスと軟鋼の拡散接合に関する研究	大 山 司 朗	三宅めぐみ・雪野竹志
	温・熱間鍛造用金型の熱軟化に関する研究	南 明 宏	野中成継・T.ジャリル
	万能塑性加工機による基礎的塑性加工に関する研究	南 明 宏	中 島 勇 也・宮 島 憲 靖
	二相二重管熱サイフォン内の流動と熱伝達に及ぼす管径比の影響	吉 田 正 道	清 田 弥・西村和博
	二相二重管熱サイフォン内の流動と熱伝達に及ぼす偏心率の影響	吉 田 正 道	芦 塚 裕 二・荒 巻 龍 輔
	複合流路におけるサブチャンネル間の乱流混合	猿渡芯眞一合	河 上 伸 子・田 中 啓 二 辻 武 尚
	二重管内気泡流の熱輸送に及ぼす気泡のかく乱効果	猿 渡 眞 一	橋 野 彰・藤 戸 純

機巧人形の復元に関する研究	川崎義則	奥園 剛
2次元倒立振子の最適制御に関する研究	川崎義則・原楨真也	石井良憲・古賀竜次
IC関連の生産ラインにおけるワークのハンドリングに関する研究	川崎義則	小代寛範・高見伸一
レーザスキャン法による三次元形状計測の研究	原楨真也	廣田和貴・松尾和登
曲面加工制御シュミレーションの研究	原楨真也	東野喜光・佐藤 元
曲がり制御深穴あけ法の開発研究	明石剛二・田口紘一	上葉文司・戸上信弘
曲がり制御深穴ボーリング加工法の開発研究	明石剛二・田口紘一	田中英一郎・橋本雅弘
新型ドリルの開発に関する研究	貝田正實・明石剛二 田口紘一	嶋 大輔・真弓健吾
水溶性切削油剤の工具摩耗へ及ぼす影響	田口紘一	茅島琢麻・西川 勝

電気工学科

Videoとパソコンを用いたCAIシステムの開発	山下 巖	小幡真市・田村貴志
HyperCardによる電気工学実験シミュレーション	辻 一夫	上津原英樹・佐伯孝治 中司正輝
HyperCardを用いた留学生のための漢和辞典システムの作成	辻 一夫	只隈正和・吉開恵治
ICテストの試作	近藤誠四郎	津留浩二・林田輝治 光山 悟
CCDを用いた線径測定器の研究	近藤誠四郎	城戸幸信・吉岡大典
針-環形除電器のコロナ放電特性	浜田伸生	釜田和紀・野口浩二 林 孝一
倒立振子の安定化制御（サーボ系）	浜田伸生	中島 繁・古城浩介
強誘電性薄膜の電気特性	永守知見	堤晋太郎・原田成作
強誘電性材料の研究	永守知見	志垣大輔・内藤秀和 中田健二
エンハンサーによる画質改善	中川忠昭	大淵健児・塚本誠二 堤 章三
カラーコレクターによる色調整、色効果	中川忠昭	大淵正晃・高田敏雄
パルスパワーの基礎研究（1）	塚本俊介	稲岡 剛・小宮満明
新エネルギー利用の研究	塚本俊介	浦川強志・猿渡康隆
集積回路におけるノイズに関する研究	石丸智士	河野恵司・濱本光弘 松崎健太郎
パルスパワーの基礎研究（2）	河野 晋	坂本光弘・鍋倉茂樹

電子情報工学科

パルスレーザ光を用いた渦運動の計測	簗田登世子	石野 誠・平川 啓 山口悦子
SI結晶における光励起されたキャリアのドリフト過程の観察Ⅱ	中村俊三郎	前原愛子・山田智美
熱酸化によるシリコン酸化膜の生成条件	中村俊三郎	井上由紀・内村知悦

圧電振動ジャイロを使った姿勢制御の研究	石井康太郎	宮本雄司・矢治賢一 吉田 修
アミューズメントロボットの研究II	瀬々浩 俊	蒲池香名子・平瀬美穂子 堀川 綾・森田直子
ハイブリッドキューイング方式を用いたクロスバ型ATM交換機とその特性	松野良信	川杉知弘・木村泰子
光波ネットワークの網再構成法に関する研究	嘉 藤 学	関 明弘・大保 毅
エアコンデショナの制御を行うファジイ推論の構築	森 紳 太朗	橋本真紀・藤丸祥一 別府 聖
文書処理系におけるユーザインターフェースに関する研究	河村豊實	浦田雅裕・大石和生
偏光レーザビーム干渉法による可視化	簗田登世子	網野雅章・田中快典 鳥越宗樹
マッキントッシュ上でのストレンジアトラクタの描画	中村俊三郎	古川浩章・堀 満
小形サーボモータ特性試験装置の製作	石井康太郎	緒方華枝・鐘ヶ江たか子 カウティヴォ
ハードウェア記述言語による16ビットマイクロコンピュータの論理設計	瀬々浩俊	橋本順子・松尾由紀子
GUIを活用する電子メールリーダの試作	松野良信	副島大樹・船江 直
光波ネットワークにおける経路制御に関する研究	嘉 藤 学	林 美穂・藤吉亮子
グラフィカルユーザインターフェースを用いた地球儀表示プログラムの開発	森 紳 太朗	清田 誠・錦戸和也 森 永司

工業化学科

アスコルビン酸オキシダーゼによるアスコルビン酸の分解反応	永田良一	森田晃弘
オキシランアクリル粒子固定化アスコルビン酸オキシダーゼ充填カラムを用いたアスコルビン酸の分析	永田良一	吉永沙緒理
オキシランアクリル粒子固定化ウリカーゼおよび固定化カタラーゼ充填カラムを用いた尿酸の分析	永田良一	村上宣央
オキシランアクリル粒子固定化グルコースオキシダーゼおよび固定化カタラーゼ充填カラムを用いたグルコースの分析	永田良一	森 純子
オキシランアクリル粒子固定化カタラーゼ充填カラムを用いた過酸化水素の分析	永田良一	浜地将司
高分解能熱分解ガスクロマトグラフィーによるポリウレタンゴムの成分分析	吉武紀道	安達一樹・松山波香
FT-IRおよび熱分解GC法によるポリウレタンゴムの熱劣化の追跡	吉武紀道	堺 忍
アロハナート架橋ポリウレタンゴムの昇温加熱FT-IRによる熱劣化・熱分解過程追跡	吉武紀道	中垣吉輝
ビウレット架橋ポリウレタンゴムの昇温加熱FTIR法による熱劣化・熱分解過程の追跡	吉武紀道	吉田 巧
マンナンセルロース複合ゲルの調整	松本和秋	秋山伸一

セルロースプロピオネートを原料としたセル ロースゲルの調整	松 本 和 秋	宇 佐 朝 美
混合希釈剤を用いたプルランゲルの調整	松 本 和 秋	菊池千波留
混合希釈剤を用いて得られた多孔質セルロー スゲルの調整と性質	松 本 和 秋	古 賀 恵 子
PVA球状粒子を用いたイミノ酢酸型両性イ オン交換体の製造	松 本 和 秋	小 宮 淳 之
オスマー型装置による低圧下における気液平 衡測定値及び補正值についての熱力学的健全 性の検討	渡 辺 徹	塚 本 公 巳
コットレルポンプによる低圧における気液平 衡関係の測定及び熱力学的健全性の検討	渡 辺 徹	内 村 哲 幸・栄 鉄 舟
低圧下における気液平衡測定値の推算	渡 辺 徹	旭 田 理 絵
4V級リチウム二次電池用正極活物質として のLiMnO ₂ の酸処理とその電池性能	宮 本 信 明	金 縄 大 樹
硝酸を添加した4V級リチウム二次電池用正 極活物質としてのLiMnO ₂ の酸添加における 電池特性	宮 本 信 明	大 塩 栄 治
種々のマンガン化合物からの4V級リチウム二 次電池用正極活物質としてのLiMO ₂ の合成	宮 本 信 明	松 本 義 輝
種々のマンガン化合物からの4V級リチウム二 次電池用正極活物質としてのLiMnO ₂ 電池特 性	宮 本 信 明	植 田 博
ナトリウム—マンガン酸化物からのLiMnO ₂ の合成	宮 本 信 明	神 代 昌 住
セラミック溶射皮膜の封孔処理技術に関する 研究	川 瀬 良 一	内 藤 和 弘
超音波を用いた溶射皮膜の非破壊評価法に関 する研究(第5報) —ポリエチレン溶射皮膜の 評価—	川 瀬 良 一	橋 本 哲 司
ポリエチレン溶射法による鉄筋コンクリート の耐久性向上技術	川 瀬 良 一	松本みのり
高速ガス炎溶射法による耐食コーティング	川 瀬 良 一	小 瀬 木 悟
ポリ (4-ヒドロキシシスチレン) とポリ (4-ビニ ルピリジン) の溶液における分子間相互作用	氷 室 昭 三	千 蔵 り か
ポリ (4-ヒドロキシシスチレン) とポリ (2-ビニ ルピリジン) の溶液における水素結合に関する 研究	氷 室 昭 三	吉 村 洋 美
ポリ (4-ビニルピリジン) とポリ (4ヒドロキ シスチレン) の高分子間コンプレックス に関 する研究	氷 室 昭 三	リー・イスカンドル
FTIRによるポリ (ビニルピリジン) とポリ (4- ヒドロキシシスチレン) の相溶性に関する研究	氷 室 昭 三	田 上 篤 志
ポリ酢酸ビニル とポリ (4-ヒドロキシシスチ レン) 相溶性	氷 室 昭 三	深 松 潤 之
マーカ—陰イオンに応答する電極を用いる陰 イオン性高分子電解質のコロイド滴定	正 留 隆	豊 福 博 文
マーカ—陽イオンに応答する電極を用いる陽 イオン性高分子電解質のコロイド滴定	正 留 隆	梅 原 薫

可塑化PVC膜型胆汁酸イオン電極の試作	正 留 隆	高 永 秀 敏
可塑化PVC膜型両性界面活性剤応答電極の試作	正 留 隆	神 保 香 織
直列型複合膜における塩流束	正 留 隆	内田真由美
サーモトロピック高分子液晶の相転移に関する赤外分光光学的研究	石 崎 勝 典	小 田 幸 雄
でんぶんの熱的性質（カタクリコ）	石 崎 勝 典	山 口 宏 仁
蛋白質の熱的变化（卵白）	石 崎 勝 典	吉 田 智 並
ステアリン酸カドミウム蒸着膜の相転移および分子配向に関する研究	石 崎 勝 典	渡 辺 正 功

建築学科

旧立花邸（御花）洋館の建築と家具に関する研究	松 岡 高 弘	田 中 智 美
すみ肉溶接継手の疲労強度に及ぼす溶接残留応力の影響	原 田 克 身	磯 部 仁 志・大 津 孝 文 徳 永 貴 吉・縄 田 英 俊
炭素繊維補強コンクリートの強度に関する実験的研究	吉 岡 義 雄	元 村 進 一
地方都市における公共図書館・地域中心館の建築計画的研究 ～ファミリー（家族同伴）利用の特性と児童書・一般書コーナーの関連性について～	北 岡 敏 郎	秋 山 和 彦・坂 元 大 輔 安 井 光 洋・吉 田 潤 治
ハイパーカードによる構造力学CAIの開発～静定構造物編の改善～	上 原 修 一	吉 田 英 人
ハイパーカードによる構造力学CAIの開発～エネルギー法について～	上 原 修 一	葭 村 智 美
プラスチック溶射被膜を施した鉄筋コンクリートの耐久性に関する基礎的研究	上 原 修 一	岡 秀 治
道路交通騒音に対する社会反応の地域比較研究～コラート（タイ）と大牟田・荒尾での社会調査～	山 下 俊 雄	木 村 愛・松 本 尚 子
コンクリートの動的圧縮荷時の力学的性状に関する実験的研究	玉 野 実	瓦 林 貴 光・松 尾 浩 延
清力酒造事務所の建築と家具に関する研究	松 岡 高 弘	山 下 陽 子
一方向吊屋根のフラッタ発生機構の実験的研究～フラッタの制振対策について～	三 宅 昭 春	足 立 和 子・鬼 海 清 孝 藏 田 純 也
三加和町・立花町における浄土真宗寺院本堂の研究	松 岡 高 弘	興 膳 弓 子・米 田 由 希 子
精神的ストレスを解放する建築空間デザインの手法に関する研究～ストレス・ケア・センタの新しい試みについて～	新 谷 肇 一	小 野 友 海・佐 竹 伸 子 福 本 美 和
大牟田市における高齢者の医療施設利用に関する研究	新 谷 肇 一	大 場 正 治・水 城 英 雄
列車騒音の影響に関する社会調査の研究	山 下 俊 雄	北 野 壽 一・岡 崎 晃
外来環境の変化が外来患者の動きおよび看護作業に与える影響に関する研究 ～その1 大牟田市立病院改築前の調査～	新 谷 肇 一	下 川 大 介・道 山 久

鋼材の疲労強度に関する研究（繰返し速度比
による疲労強度） 原 田 克 身

高層建築物の振動に関する基礎的研究 三 宅 昭 春

RC柱の低載荷速度時のせん断耐力と変形性 玉 野 実
状に関する実験的研究

帯筋を集中したせん断補強法に関する実験的 玉 野 実
研究

石川いずみ・安 武 正 憲

家 永 浩 史・佐 藤 誠

石 原 誠 治・合 屋 修 一
指 方 宏 彰・杉 本 年 克
宮 崎 圭 介

門 本 和 久・山 下 志

平成7年度 編集委員

委員長	瀬戸	洋	(教務主事)
委員	宮川	英明	(図書館長)
〃	田口	紘一	(機械)
〃	小沢	賢治	(電気)
〃	堀切	淳一	(電子情報)
〃	三浦	博史	(物質)
〃	玉野	実	(建築)
〃	塚本	祐右	(一般)
〃	三戸	健司	(一般)

有明工業高等専門学校紀要
第 32 号 (1996)

平成8年1月31日 発行

編 集 有明工業高等専門学校紀要編集委員会

発 行 有 明 工 業 高 等 専 門 学 校

〒836 大牟田市東萩尾町150

電話 大牟田 (0944)53-1044

印 刷 か も め 印 刷

〒862 熊本市渡鹿5丁目8-4

電話 熊 本 (096)364-0291

CONTENTS

On the Evaluation for Education by the Computer Literacy and Programming introduced newly at our School	Iwao Yamashita and Toyomi Kawamura	1
PSEUDOCONVEXITY OF A RIEMANN DOMAIN IN INFINITE DIMENSIONAL PROJECTIVE SPACES	Tatsuhiko Honda	7
ON THE SMOOTHNESS OF A BOUNDARY DISTANCE FUNCTION	Fumitoshi Sakanishi	15
Geometric constructions of the Coefficients, Foci, Eccentricities, Directrices from the Crapha of Standard Equation of Proper Quadratic Curves	Tatsuo Kawakami	21
Prediction of Vapor-liquid Equilibria under Reduced Pressures by Wilson Equation and ASOG Model	Toru Watanabe, Katsumi Honda and Yasuhiko Arai	27
Rotating Electrode Study on the Fixation Mechanism of Carbon Dioxide	Satoshi Ishimaru	33
A Study on the Mechanisms of Shear Resistance of Reinforced Concrete Columns	Minori Tamano	37
A Consideration on Restoration of a Karakuri Ningyo	Syousaku Kinoshita, Shinya Haramaki and Yoshinori Kawasaki	49
Axial Hole Deviation in Deep Driling (1st Report) —Influence of Misalignments in Driling System—	Koichi Taguchi, Akio Katsuki and Keizo Sakuma	57
Axial Hole Deviation in Deep Driling (2nd Report) – Influence of Shape of Workpiece –	Koichi Taguchi, Akio Katsuki and Keizo Sakuma	65
On the Education of Transient Phenomena Using Spread Sheet	Susumu Kohno, Satoshi Ishimaru and Kazuo Tuji	75
The IP Connection of LAN in the Department of Electronics and Information Engineering (E. I. E.)	Hirotoishi Sese and Yoshinobu Matsuno	79
A Study of the Feedback Controled CMOS Output Buffer	Satoshi Ishimaru	85
A Trial Fabrication of MOS Integrated Circuits —on the Attendance to the Information Technology Seminer at Kyushu Institute of Technology—	Shunzaburo Nakamura	89
Between Adam and Jude	Kiyoshi Nakamoto	93
A Study of Sugawara Michizane	Hiroshi Yakiyama	110